FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Herausgegeben

im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn

vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Nr. 2425

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing. Wolfgang Seichter

„Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik"
Interfakultative Forschungsgruppe
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen

Ansätze zur abnehmerorientierten Werkstoffauswahl im Rahmen des Produktentstehungsprozesses

Dargestellt am Beispiel nichttragender Außenwände im industrialisierten Wohnungsbau

WESTDEUTSCHER VERLAG

FORSCHUNGSBERICHTE DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN

Nr. 2425

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Dr.-Ing. Wolfgang Seichter

"Entwicklungstrends in Wissenschaft und Technik"
Interfakultative Forschungsgruppe
der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen

Ansätze zur abnehmerorientierten Werkstoffauswahl im Rahmen des Produktentstehungsprozesses

Dargestellt am Beispiel nichttragender Außenwände
im industrialisierten Wohnungsbau

Westdeutscher Verlag 1975

Teilbericht im Rahmen des Forschungsvorhabens "Wirtschaftliche, kulturelle und soziale Aspekte der Technik und der Ingenieurwissenschaften in ihrer Bedeutung für Staat und Gesellschaft".

Leitung des Gesamtprojekts im Auftrage des Senates der Rhein.-Westf. Techn. Hochschule Aachen: Prof. Dr.-Ing. Georg Menges, Institut für Kunststoffverarbeitung.

© 1975 by Westdeutscher Verlag GmbH, Opladen
Gesamtherstellung: Westdeutscher Verlag

ISBN 978-3-531-02425-7 ISBN 978-3-322-88555-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-88555-5

Inhalt

1. Einleitung 5

2. Zur Entwicklung der Werkstoffe 6
2.1 Stufen der Werkstoffentwicklung 6
2.2 Verbrauchs- und Preisentwicklung 7
2.3 Allgemeine Entwicklungstendenzen 10
2.4 Zunehmende Werkstoffkonkurrenz 10

3. Produktentstehung und Werkstoffauswahl 11
3.1 Einleitung 11
3.2 Produktentstehung und Planung 12
3.3 Die Stufen des Produktentstehungsprozesses .. 12
3.3.1 Produktplanung 13
3.3.2 Produktentwicklung und Produktgestaltung 18
3.4 Zusammenfassung 19

4. Optimierung der Werkstoffauswahl im Sinne des Marketing 20
4.1 Einleitung 20
4.2 Der Entscheidungsprozeß 22
4.2.1 Einleitung 22
4.2.2 Die Bewertungskriterien 23
4.2.2.1 Einleitung 23
4.2.2.2 Die Anforderungsstruktur des Abnehmers 24
4.2.2.3 Ableitung der Bewertungskriterien 25
4.2.2.4 Die Problematik der wirtschaftlichen Bewertung 27
4.2.2.5 Das Problem der Nutzenunabhängigkeit 30
4.2.2.6 Differenzierung der Kriterien 32
4.2.2.7 Beispiel zur Ableitung der Bewertungskriterien 33
4.2.3 Die Zielertragsmatrix 41
4.2.4 Bewertung und Auswahl 44
4.2.4.1 Einleitung 44
4.2.4.2 Der Bewertungsvorgang 47
4.2.4.2.1 Gewichtsbestimmung 49
4.2.4.2.2 Skalenvereinheitlichung 51
4.2.4.3 Messung über Funktionen 52
4.2.4.4 Vorteile des vorgeschlagenen Bewertungsverfahrens 53
4.2.4.5 Messung über ein Meßmodell 54
4.2.4.6 Berücksichtigung der Unsicherheit 54
4.2.4.7 Bewertung der Alternativen für nichttragende Außenwände 59

5. Zusammenfassung 59

Literaturverzeichnis 63

Anhang: Einfluß der Produktionsmenge auf die Werkstoffauswahl 67

Abbildungen 69

1. Einleitung

Wirtschaftlicher und technologischer Fortschritt und Werkstoffentwicklung sind eng miteinander verbunden. Eine wichtige Voraussetzung zur Verwirklichung einer Produktidee ist das Vorhandensein eines Werkstoffes, der den technisch-funktionalen und wirtschaftlichen Anforderungen, die sich aus den Gebrauchs- und Absatzfunktionen des geplanten Produktes ergeben, gerecht wird. Der technologische Fortschritt kann sich nur vollziehen, wenn entsprechend den steigenden Anforderungen - z.B. bei den Massenprodukten nach billigerer und schnellerer Herstellung, oder bei komplizierten technischen Gebilden nach noch größerer Zuverlässigkeit - die benötigten Werkstoffe zur Verfügung stehen. Die Erkenntnisse z.B. in der Verfahrenstechnik, daß bei einem Prozeß höhere Temperaturen und/oder ein höherer Druck zu besseren Ausbeuten führen, sind ohne Wert, wenn nicht der Werkstoff zum Bau eines entsprechenden Reaktionsgefäßes zur Verfügung steht. Die bemannte Weltraumfahrt wurde erst möglich, als ein Werkstoff entwickelt war, der den beim Eintauchen des Raumfahrzeuges in die Erdatmosphäre auftretenden Beanspruchungen standhielt. Die Massenproduktion von Autos, Haushaltsgeräten usw. erfordert Werkstoffe, die sich schnell und billig in die gewünschte Form bringen lassen.

Steht zur Verwirklichung einer Idee der benötigte Werkstoff nicht zur Verfügung, so liegen Restriktionen hinsichtlich der Idee vor. Die Idee muß entweder entsprechend modifiziert (vgl. Abb. 1) oder ein Werkstoff, der den Anforderungen gerecht wird, muß entwickelt werden (vgl. Abb. 2). Die ständig steigenden Leistungen hochentwickelter technischer Systeme zwingen vielfach dazu, parallel mit ihrer Entwicklung eine gezielte Werkstoffentwicklung zu betreiben, da die vorhandene Palette der gebräuchlichen Werkstoffe den immer höheren Anforderungen nicht gerecht wird [1].

Im Rahmen der ständigen Bemühungen, vom Werkstoff her den immer vielfältigeren Anforderungen durch Wirtschaft und Technik zu entsprechen, werden die Anwendungsgebiete und damit die erforderlichen Werkstoffeigenschaften immer spezieller. Als Folge entsteht ein differenzierteres Werkstoffangebot, was einleitend in seinen Entwicklungstendenzen kurz beschrieben werden soll. Abb. 3 zeigt den Zusammenhang zwischen den allgemeinen Einflußgrößen auf Werkstoffangebot und Werkstoffnachfrage.

Die zunehmende Werkstoffkonkurrenz macht es notwendig, das Problem der Werkstoffauswahl einer systematischen Betrachtung zu unterziehen und Lösungswege, die den Bereich der intuitiven oder gewohnheitsmäßigen Entscheidung meiden, für dieses Entscheidungsproblem aufzuzeigen. Einerseits soll dadurch eine in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht optimale Werkstoffauswahl im Rahmen des Produktentwicklungs- und Konstruktionsprozesses ermöglicht, andererseits eine methodische Grundlage, um Aussagen über den zukünftigen Werkstoffabsatz machen zu können, gegeben werden. Die Problematik der Werkstoffauswahl soll in dieser Arbeit unter

dem Aspekt behandelt werden, für ein Produkt ein möglichst großes Marktpotential zu schaffen.

2. Zur Entwicklung der Werkstoffe

2.1 Stufen der Werkstoffentwicklung

Unter Werkstoffen versteht man ganz allgemein feste Stoffe, die der mechanischen Herstellung von Gegenständen dienen [2]. Sie werden konstruktiv verwendet und sind im Hinblick auf den Verwendungszweck nicht oder nicht wesentlich bearbeitet, jedoch unmittelbar verarbeitbar. Ihre stoffliche Natur bestimmt den substantiellen Charakter der aus ihnen hergestellten Gegenstände, da sie wesentlicher Bestandteil derselben sind [3].

Die zunehmenden Erkenntnisse über den Aufbau der Werkstoffe und über die Zusammenhänge zwischen ihrer inneren Struktur und den Eigenschaften waren für die Entwicklung der Werkstoffe eine wichtige Voraussetzung [4]. Wenn die Beziehungen zwischen stofflicher Struktur und Eigenschaften des Werkstoffes bekannt sind, hat man die Möglichkeit, die Struktur kontrolliert zu erzeugen, die gerade exakt die gewünschten Werkstoffeigenschaften zur Folge hat. Es ist damit möglich, Werkstoffe mit speziellen Eigenschaften für ganz bestimmte Anforderungen zu entwickeln (Werkstoffe nach Maß [4, 5]). Fehlt zur Verwirklichung einer Produktidee der erforderliche Werkstoff, kann dieses Problem somit zielgerichtet gelöst werden (vgl. Abb. 2). Es zeichnet sich die Tendenz ab, daß die Konstruktionen nicht mehr so sehr den vorhandenen Werkstoffen angepaßt werden, sondern daß die Werkstoffentwicklung mehr und mehr an der Lösung neuartiger technischer Probleme ausgerichtet wird [6]. Die Arbeit des Werkstoffachmannes ist nicht mehr so sehr analytisch, indem er empirisch variierte Werkstoffe auf ihre Eigenschaften hin prüft, sondern sie besteht in der Synthese von Werkstoffen mit bestimmten Eigenschaften [7].

Die speziellen Eigenschaften der einzelnen Werkstoffgruppen beruhen auf verschiedenem Stoffaufbau. Man kann diesen in mehrere Stufen unterteilen, auf denen für die einzelnen Werkstoffe unterschiedliche Eingriffsmöglichkeiten zur Erzeugung gewünschter Eigenschaften bestehen [4, 7]. Auf eine einfache Formel gebracht, gilt [8]:

Eigenschaften eines Werkstoffes	=	am Aufbau beteiligte chemische Elemente (1. Stufe)	+	Bausteinstruktur	(2. Stufe)
				Mikrostruktur	(3. Stufe)
				Makrostruktur	(4. Stufe)

Es sind zwar große Fortschritte in den Bemühungen um ein vertieftes Verständnis der Zusammenhänge zwischen Stoffaufbau und Werkstoffeigenschaften zu verzeichnen, jedoch bereitet die Komplexität des Problems noch eine Vielzahl von Schwierigkeiten. Die Summe der Einzelerkenntnisse ist nur schwer in einen kontrollierbaren Gesamtzusammenhang zu bringen. Abb. 4 gibt einen Eindruck von den vielfältigen Faktoren und deren Zusammenwirken beim Aufbau des Eigenschaftsbildes eines Kunststoffes [9]. Zu den Problemen der gezielten Erzeugung gewünschter Werkstoffeigenschaften bei der Werkstoffherstellung treten noch die Rückwirkungen der Werkstoffverarbeitung auf die Werkstoffeigenschaften.

Die Erfassung des Gesamtproblems erfordert eine Systemanalyse, die folgende Zusammenhänge aufzeigt [8]:

a) Zusammenhang zwischen eigenschaftsbildenden Parametern P und Werkstoffeigenschaften E;

b) Kontrollmöglichkeiten der Parameter P bei den einzelnen Werkstoffen W;

c) Kontrollmöglichkeiten der Parameter P bei den einzelnen Bearbeitungsverfahren V.

Damit wären die Beziehungen zwischen Werkstoffeigenschaften, Bearbeitungsverfahren und Werkstoffen in einen Zusammenhang gebracht, der die Effektivität bei der Erzeugung gewünschter Werkstoffeigenschaften über eine gezielte Werkstoff- und Verfahrensauswahl weitgehend steigern könnte (vgl. Abb. 5). In der ersten Phase wird sich die Systemanalyse auf qualitative Zusammenhänge beschränken müssen, die in einer zweiten Phase nach und nach aus den vorhandenen Erkenntnissen und über gezielte Forschung soweit als möglich quantifiziert werden.

Das Problem der Werkstoffauswahl berührt weitgehend nur die vierte Aufbaustufe (Makrostruktur), da fertige Werkstoffe mit einem bestimmten Eigenschaftsbild, wie sie vom Hersteller angeboten werden, in die Produktion eingehen. Rückwirkungen in vorgelagerte Aufbaustufen durch den Verarbeitungsprozeß müssen meist berücksichtigt werden.

2.2 Verbrauchs- und Preisentwicklung

Abb. 6 zeigt die Entwicklung des bisherigen Verbrauchs wichtiger Werkstoffe, verbunden mit einer Prognose bis zum Jahre 2000 [10]. Zwei Tatsachen sind besonders augenfällig:

a) die wesentliche Bedeutung von Eisen und Stahl in der Vergangenheit,

b) das außerordentliche Wachstum der Kunststoffe.

Seit 1950 wuchs der Verbrauch von Kunststoffen im Fünf-Jahres-Rhythmus um jeweils 100 Prozent. Für die Zukunft wird eine ähnliche oder noch größere Steigerung vorausgesagt [11]. Die oft gestellte Frage, wann die Kunststoffe die Eisenwerkstoffe als bedeutendste Werkstoffgruppe ablösen, sollte wegen der unterschiedlichen spezifischen Gewichte eher auf Volumenbasis untersucht werden. Nach Abb. 7 wird geschätzt, daß der volumenmäßige Verbrauch von Kunststoffen zwischen 1980 und 1985 den Verbrauch von Eisenwerkstoffen überschreitet [10]; vgl. auch [12].

Die Verbrauchsstruktur einiger wichtiger Werkstoffe (für Beton, Kupfer, keramische Werkstoffe u.a. standen im Rahmen der angeführten Untersuchung keine ausreichenden Daten zur Verfügung) geht aus Tab. 1 hervor [13]. Man erkennt, daß Eisen und Stahl, Aluminium und Kunststoffe eine Verteilung über alle Anwendungsgebiete aufweisen, während die anderen Werkstoffe mehr speziell in bestimmten Anwendungsgebieten zum Einsatz gelangen. Dies unterstreicht neben der außerordentlichen mengenmäßigen Verbreitung (vgl. Abb. 6) die Bedeutung dieser Werkstoffe für alle technischen Bereiche.

Tab. 1: Geschätzte Verbrauchsstruktur ausgewählter Werkstoffe in industrialisierten Ländern (in %) [13]
Durchschnittswerte für Frankreich, Großbritannien und Bundesrepublik Deutschland für die Jahre 1960 bis 1964

WERKSTOFF / VERBRAUCHSSEKTOR	Kunst-stoffe	Alumi-nium	Glas	Holz	Asbest-zement	Papier u. Pappe	Eisen u. Stahl	Faser u. Span-platten
1.0 Bergbau, Eisenbahnbau, Baugewerbe	22,0	15,8	25,0	47,5	100,0	-	25,9	41,0
1.1 Bergbau, Rohöl u. Naturgas	2,0	-	-	17,0	5,0	-	4,9	-
1.2 Strom- u. Wasserversorgung, Gaswerke	4,0	5,9	-	1,0	15,0	-	0,8	-
1.3 Eisenbahnbau (Bauten, Schienenwege)	-	0,1	-	2,5	-	-	2,0	-
1.4 Baugewerbe	16,0	9,8	25,0	27,0	80,0	-	18,0	41,0
2.0 Hersteller von Metallprodukten	28,0	21,2	60,0	32,0	-	70,0	19,6	47,0
2.1 Verpackungen, Container andere Hohlwaren	15,0	13,7	60,0	22,0	-	70,0	8,3	6,0
2.2 Draht, Drahtprodukte, Verschlüsse u.s.w.	3,0	1,1	-	-	-	-	9,4	-
2.3 Haushaltsausrüstung nicht-elektrisch	10,0	6,4	-	10,0	-	-	1,9	41,0
3.0 Maschinenindustrie	8,0	23,0	4,0	-	-	-	18,5	-
3.1 Maschinenbau nicht-elektrisch	3,0	12,2	-	-	-	-	13,3	-
3.2 Elektrische Maschinen u. Geräte	5,0	10,8	4,0	-	-	-	5,2	-
4.0 Herstellung u. Reparatur von Transportmitteln	9,0	30,3	3,0	6,0	-	-	21,3	-
4.1 Schiffsbau	-	1,2	-	3,0	-	-	5,1	-
4.2 Eisenbahn- u. Trambahnwagen	3,0	2,2	1,0	2,0	-	-	3,2	-
4.3 Automobile, Flugzeuge, Motorräder u.s.w.	6,0	26,9	2,0	1,0	-	-	13,5	5,0
5.0 Übrige metallverarbeitende Betriebe	-	4,3	-	-	-	-	11,6	
6.0 Andere Abnehmer	33,0	5,4	8,0	14,5	-	30,0	2,6	-
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Der Preis ist eine der wesentlichsten Eigenschaftskomponenten eines Werkstoffes. Grundsätzlich kann man von einer prinzipiellen Abhängigkeit der Werkstoffpreise von der produzierten Menge ausgehen. Dies bezieht sich einerseits auf die Stellung der Werkstoffe untereinander zu einem bestimmten Zeitpunkt, andererseits auf die Preisentwicklung eines Werkstoffes im Zeitablauf. Beide Zusammenhänge ergeben, in einem doppeltlogarithmischen Koordinatensystem aufgetragen, Geraden (vgl. Abb. 8 [6] und Abb. 9 [14]). Am Anfang jeder Werkstoffentwicklung ist mit zunehmender Produktionsmenge ein zunächst starker Preisrückgang verbunden, da

a) Forschung und Entwicklung und steigende Erfahrungen sich voll auf den Produktivitätsfortschritt auswirken. Verbesserte Verfahrensweisen führen zu Senkungen des spezifischen Rohstoff- und Energiebedarfs und der Betriebskosten.

b) die Vergrößerung der Produktionsanlagen eine erhebliche Senkung der pro Mengeneinheit anfallenden Investitions- und Produktionskosten bewirkt.

Der Preisrückgang verlangsamt sich dann mit steigender Produktionsmenge immer mehr, da die Herstellungsverfahren so weit ausgereift sind, daß Rationalisierungserfolge immer schwieriger werden, und da die Möglichkeiten der Kostendegression durch Anlagenvergrößerung an eine Grenze stoßen. Als Beispiele seien hier die Reduzierung des spezifischen Kokseinsatzes im Hochofen (vgl. Abb. 10 [15]) und die Senkung der Herstellkosten für Äthylen, das wesentlicher Grundstoff zur Kunststofferzeugung ist, durch Anlagenvergrößerungen (vgl. Abb. 11 [16]) genannt. Schwankende Rohstoffeinsatzkosten und steigende Löhne, die auch bisher dem gesamten Preisbildungsprozeß überlagert waren, jedoch mehr als ausgeglichen werden konnten, werden zur entscheidenden Komponente für den Werkstoffpreis. Die Rationalisierungserfolge reichen gerade noch dazu aus, die steigenden Kosten zu kompensieren, oder es kommt sogar zu Preiserhöhungen.

Abb. 12 zeigt schematisch das Zusammenwirken der Einflußgrößen auf die Preisentwicklung eines Werkstoffes. In den Kurven können durchaus Sprünge auftreten, wenn es zur Entwicklung vollkommen neuer Verfahren (z.B. die Direktreduktion von Eisenerz durch Wasserstoff, Einsatz von Rohöl zur Herstellung der Monomeren) oder zu einem grundsätzlichen Wechsel in der Rohstoffbasis (z.B. Wandel von der Rohstoffbasis Kohle zu Erdöl/Erdgas bei der Herstellung der Kunststoffe) kommt. Der grundsätzliche Zusammenhang bleibt jedoch bestehen, da der beschriebene Prozeß von einer tieferen Stufe zur ursprünglichen Entwicklungslinie parallel weiterverläuft.

Eine Analyse der Werkstoffgruppen auf ihre Preisentwicklung hin ergibt, daß sie auf ihrer Preisentwicklungskurve an verschiedenen Stellen stehen (vgl. Abb. 12 und 13 [17]). Stahl, Eisen und NE-Metalle sind in ihrer Entwicklung so weit fortgeschritten, daß Rationalisierungserfolge nur noch mit großem Aufwand erreicht werden können. Schwankungen der Rohstoffeinsatzpreise und Lohnbewegungen können entweder gerade noch aufgefangen werden, oder sie wirken sich voll auf den Werkstoffpreis aus. Bei den Kunststoffen zeichnet sich derzeit eine Reduzierung der Preissenkungsraten ab. Die Unsicherheit hinsichtlich der Preisentwicklung bei den petrochemischen Einsatzstoffen (Forderungen der rohölerzeugenden Länder nach höheren Rohölpreisen, Verknappung von

Rohbenzin als wichtigem petrochemischen Einsatzstoff) schließt sogar Preissteigerungen in der nächsten Zukunft nicht aus. Die Verbundwerkstoffe stehen zum Teil noch am Anfang ihrer Entwicklung. Mit steigender Anwendung werden z.B. für hochfeste Verstärkungswerkstoffe erhebliche Preissenkungen prognostiziert (vgl. Abb. 14 [1]).

2.3 Allgemeine Entwicklungstendenzen

Folgende Entwicklungstendenzen lassen sich auf dem Gebiet der Werkstoffe erkennen:

a) abnehmende Abhängigkeit von den natürlichen Werkstoffen;

b) laufend zunehmendes Angebot von Werkstoffen mit einem sich ständig erweiternden Eigenschaftsbild durch die
   - Weiterentwicklung herkömmlicher Werkstoffe, z.B. Verbesserung eines bestimmten Stahles oder Kunststoffes, und
   - Entwicklung neuer Werkstoffe, z.B. neuer Kunststoffe oder neuartiger Verbundwerkstoffe; die neuen Werkstoffe fordern den technischen Fortschritt auch bei den traditionellen Werkstoffen heraus, fördern also indirekt auch deren Entwicklung und Anwendung.

Abb. 15 zeigt die zunehmende Anzahl metallischer Werkstoffe in den USA, deren Verbrauch wirtschaftlich von Bedeutung ist [18] .

c) steigender Ausnutzungsgrad bei der Verwendung der Werkstoffe (z.B. Reduzierung des Gewichtes pro Leistungseinheit bei Verbrennungsmotoren, Strahltriebwerken und Elektromotoren);

d) steigende Zuverlässigkeit der Werkstoffe;

e) zunehmende Vergrößerung der Produktionsanlagen zur Herstellung der Werkstoffe (vgl. Abb. 16 [19] und Abb. 17 [20]).

f) vermehrte Entwicklung und Anwendung von Verbundwerkstoffen. Sie bieten im Prozeß der Anpassung der Werkstoffeigenschaften an die Anforderungen im Einsatz (vgl. Kapitel 2.1) durch die Kombination von zwei oder mehr Werkstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften am ehesten die Möglichkeit einer auf den jeweiligen Verwendungszweck zugeschnittenen Optimierung der Werkstoffdaten [1] .

2.4 Zunehmende Werkstoffkonkurrenz

Eine Folge der beschriebenen Entwicklungen auf dem Gebiet der Werkstoffe ist, daß in zunehmendem Maße zur Verwirklichung einer neuen Produktidee oder Produktverbesserung mehrere Werkstoffe zur Auswahl stehen [21] . Eine zunehmende Werkstoffkonkurrenz führt immer häufiger zu Werkstoffauswahlproblemen. Dabei kann man unterscheiden:

a) die Auswahl zwischen Werkstoffen der gleichen Gruppe, z.B. zwischen verschiedenen Stählen oder verschiedenen Kunststoffen;

b) die Auswahl zwischen Werkstoffen verschiedener Gruppen, z.B. zwischen Stahl und Kunststoff.

Als Substitution soll der unter b) beschriebene Vorgang angesehen werden, und zwar sowohl die Verdrängung einer Werkstoffgruppe durch eine andere für eine bestehende Anwendung, als auch die Auswahl einer bestimmten Werkstoffgruppe aus einer Reihe von möglichen Werkstoffen für eine neue Anwendung [22].

Die Entwicklung eines neuen Werkstoffes führt auch zur Schaffung neuer Anwendungen nur für diesen Werkstoff (vgl. Abb. 18).

Die zunehmende Werkstoffkonkurrenz macht es notwendig, das Problem der Werkstoffauswahl systematisch zu durchleuchten,

a) um sicherzustellen, daß bei der Verwirklichung einer Produktidee sowohl im Hinblick auf die geforderten technischen Funktionen als auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Anforderungen vom Markt und aus dem Unternehmen eine optimale Lösung des Werkstoffauswahlproblems erzielt wird. Dies ist nicht gewährleistet, wenn diese Entscheidung, wie es bisher zum großen Teil geschieht, auf intuitiver oder gewohnheitsmäßiger Basis gefällt wird [23];

b) um Aussagen über den zukünftigen Werkstoffabsatz und über Substitutionsvorgänge machen zu können. Es ist problematisch, quantitative Aussagen darüber aufgrund globaler Angaben über die konkurrierenden Werkstoffe zu machen. Vielmehr ist es erforderlich, Teilmärkte zu ermitteln, d.h. Einzeluntersuchungen für individuelle Anwendungen der konkurrierenden Werkstoffe durchzuführen, da die technischen und wirtschaftlichen Kriterien, die das Ausmaß des Absatzes und der Substitution bestimmen, für die einzelnen Anwendungen sehr unterschiedlich sind. Dabei ist eine genaue Kenntnis über den Werkstoffauswahlprozeß Voraussetzung, um fundierte Aussagen über die auf dem jeweiligen Teilmarkt vorliegenden Einflußgrößen machen zu können, die die Entwicklung des Teilmarktes bestimmen. Die Entwicklungen der Teilmärkte können dann zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden.

Unter Werkstoffauswahl sei im folgenden grundsätzlich die beim Vorliegen alternativer Möglichkeiten notwendige Entscheidung darüber verstanden, aus welchem Werkstoff bzw. welcher Werkstoffkombination ein Produkt gefertigt werden soll. Die Frage nach der Werkstoffkombination wird sich in der Realität am häufigsten stellen, denn in den seltensten Fällen ist ein Produkt nur aus einem Werkstoff gefertigt. Der Begriff Werkstoffkombination ist daher jeweils mit in den Begriff Werkstoff eingeschlossen und wird der Einfachheit halber nicht jedesmal explizit angeführt.

3. Produktentstehung und Werkstoffauswahl

3.1 Einleitung

Nach der in Kapitel 2.1 gegebenen Definition werden die Werkstoffe entwickelt und produziert, um die Basis zur Herstellung von Produkten zu schaffen. Über ihre Anwendungsmöglichkeiten wird daher im Rahmen des Produktentstehungsprozesses entschieden, der letztlich zu Anweisungen und Informationen über die Umwandlung der Werkstoffe zu Produkten führt. Abb. 19 zeigt in vereinfachter Form den Zusammenhang zwischen Werkstofffluß und Informationsfluß in einem Unternehmen im Rahmen der Produktentstehung und Produktion [24]. Im Laufe der Produktentstehung ist die Entscheidung über die Verwendung alternativer Werkstoffe zu

treffen, d.h. im Rahmen der Produktentstehung fällt das Werkstoffauswahlproblem an. Es soll daher im folgenden beschrieben werden, von welchen Faktoren das Problem der Werkstoffauswahl im Rahmen der Produktentstehung beeinflußt wird und welche Informationen zur Entscheidungsfindung notwendig sind.

3.2 Produktentstehung und Planung

Der Inhalt des Begriffes Produktentstehung wird sehr treffend von dem im englischen Schrifttum häufig verwandten Begriff "Engineering Design" umschrieben. Design wird dabei ganz allgemein als der Prozeß angesehen, bei dem zur Lösungsfindung für einen bestimmten Anwendungszweck das gesamte Spektrum von Wissenschaft und Technologie angewandt wird [25]. Engineering Design ist die zielgerichtete Tätigkeit, die menschlichen Bedürfnisse mit Mitteln der Technik zu befriedigen [26]. Dabei werden wissenschaftliche Prinzipien, technische Informationen und Vorstellungskraft benutzt, um mechanische Strukturen, Maschinen oder Systeme zu entwerfen, die die verlangten Funktionen mit maximalem Wirkungsgrad bei hoher Wirtschaftlichkeit verwirklichen [27].

Da das Tempo der sozialen, wirtschaftlichen und technischen Entwicklungen und die Komplexität der unternehmerischen Umwelt in den letzten Jahren ständig zugenommen haben, sind Entscheidungen risikoreicher geworden, so daß bald kaum noch Spielraum für intuitive Entscheidungen bleibt [28]. Planung als methodische Handlungsvorbereitung wird daher in zunehmendem Maße notwendig, um die Zukunft zu sichern. Entscheidungen lassen sich damit so rechtzeitig vorbereiten, daß die entscheidungsrelevanten Informationen möglichst vollständig berücksichtigt werden können und die aufgrund einer Präferenzskala zu treffenden Entscheidungen über die gegebenen Handlungsalternativen eine möglichst umfassende rationale Basis erhalten [29].

Um den Vorgang der Produktentstehung, der sich im Rahmen der Unternehmensaktivität ständig wiederholt, der Planung, der Optimierung und Kontrolle zugänglich zu machen, ist es notwendig, dessen Struktur zu erfassen. Der Vorgang ist systematisch zu präzisieren und in einem geeigneten Formalismus abzubilden [30], um die Parameter zu erkennen und deren Zusammenwirken transparent zu machen.

3.3 Die Stufen des Produktentstehungsprozesses

Der Produktentstehungsprozeß wird im allgemeinen in die folgenden drei Hauptphasen gegliedert [28, 31, 32]:

a) Produktplanung
b) Produktentwicklung
c) Produktgestaltung

An die Produktgestaltung schließt sich dann die Produktion selbst an. In den angeführten drei Hauptphasen finden folgende Haupttätigkeiten statt [33]:

a) Konzeptformulierung und Konzeptauswahl
b) Konzeptkonkretisierung (Produktkonkretisierung)
c) Konstruktion

In Abb. 20 ist schematisch der Ablauf des Produktentstehungsprozesses abgebildet. Durch eine Rückkoppelung der einzelnen Stufen wird eine Optimierung möglich, und die notwendige Flexibilität ist gewährleistet. Informationen über neue Entwicklungen (z.B. neue oder verbesserte Werkstoffe und Fertigungsverfahren) können in den Produktentstehungsprozeß integriert werden. Störungen betrieblicher oder marktwirtschaftlicher Art können ausgeglichen werden.

3.3.1 Produktplanung

Im Rahmen der Planung trägt das Marketing wesentlich zur Zukunftssicherung eines Unternehmens bei. Marketing heißt: Führung des Unternehmens vom Markt her [34]. Abb. 21 zeigt schematisch die Einflüsse und Aktivitäten des Marketing [35].

Die Produktplanung ist der Brennpunkt des Marketing und umfaßt die methodische Integration, Koordination und Auswertung aller produktbestimmenden Faktoren aus Markt, Wissenschaft, Technik und Unternehmen, die auf optimale Produktentstehung gerichtet sind [28].

Basis der Produktplanung ist die umfassende Prognose über die zukünftigen Märkte. Einerseits sind die möglichen Marktpotentiale zu bestimmen (quantitative Prognose), andererseits die in Zukunft auf den Märkten auftretenden Anforderungen, die für die künftig vom Abnehmer verlangten Produktfunktionen bestimmend sind (qualitative Prognose) (vgl. Abb. 20).

Im folgenden sei die Konzeptformulierung und -auswahl im Rahmen der Produktplanung am Beispiel des Wohnungsbaumarktes dargestellt, der mit einem zukünftigen Bedarf von ca. 500 000 Wohnungen pro Jahr weiterhin gute Absatzchancen bietet [36]. Es ist eine anerkannte Tatsache, daß die Bauindustrie hinter der allgemeinen technischen Entwicklung zurückgeblieben ist [37]. Dies kommt vor allem in den unverhältnismäßig hohen Steigerungsraten der Baupreise zum Ausdruck (vgl. Abb. 22 [17]). Die steigenden Lohnkosten sind nicht wie in den anderen Industriezweigen durch Rationalisierung und dabei im besonderen durch Industrialisierung aufgefangen worden.

Zur Stabilisierung der Baupreise im allgemeinen Preisgefüge und zur Angleichung des Angebotes an die Nachfrage kommt jedoch auch das Baugewerbe auf die Dauer nicht umhin, die Möglichkeiten industrieller Produktionsvorgänge auszuschöpfen, die weitgehend auf die teure menschliche Arbeitskraft verzichten. Die umfassende Mechanisierung der Vorgänge auf der Baustelle kann dabei nur Teilaspekt sein. Es geht vielmehr darum, die Produktion von Wohnungen soweit als möglich in stationäre Fertigungsstätten zu verlagern (Vorfertigung), um zu einer maschinellen und automatisierten Serien- bzw. Massenfertigung zu gelangen, wie sie in anderen Industriezweigen schon längst selbstverständlich ist. Dazu ist das Bauwerk in seine Komponenten zu zerlegen, die dann in automatisierten Fertigungsabläufen produziert werden. Die Bauelemente, die in vielfältigen Kombinationen verwendbar sein sollten, sind dann im Sinne eines Baukastenprinzips bei kürzesten Bauzeiten auf der Baustelle nur noch zu montieren.

Es zeichnet sich damit die Tendenz ab, daß das Produkt Wohnung nicht wie bisher in einzelnen Gewerken von einer zersplitterten Bereitschaftsindustrie angeboten und hergestellt, sondern als

organisatorisches, technisches und planerisches Ganzes aufgefaßt wird, das man über die Dienstleistung hinaus als vollständige Problemlösung in Form eines Bausystems anbietet [38, 39]. Eine tiefgreifende strukturelle Umwandlung der Bauwirtschaft scheint bevorzustehen. Aufgrund ihrer Erfahrungen bei der industriellen Produktion von Gütern eröffnet sich damit ein Markt, der auch für solche Unternehmen interessant ist, die bisher im Bereich des Wohnungsbaues nicht tätig waren.

Ausgehend von den oben angeführten Voraussetzungen bieten sich für eine rationalisierte und industrialisierte Produktion von Wohnungen die folgenden Bausysteme an [40, 41]:

a) Tafelsysteme
b) Skelettsysteme
c) Raumsysteme

In Tab. 2 sind die Systeme weiter untergliedert und näher erläutert.

Die Konzepte bieten vom technischen Aufbau her ungleiche Voraussetzungen, um die an sie gestellten Forderungen erfüllen zu können. Um das Bausystem zu bestimmen, welches sich in Zukunft durchsetzen wird, müssen diese an den zukünftigen Anforderungen, die sich aus der Bedarfsprognose ableiten, bewertet werden. Das Bausystem, welches den zukünftigen Anforderungen am besten entspricht, sollte sich bei rationaler Handlungsweise der Marktteilnehmer durchsetzen.

Beim Vorliegen alternativer technischer Systeme kann die Beurteilung hinsichtlich der zukünftigen Durchsetzbarkeit nur auf der Basis einer Bewertung an Hand der Gesamtheit der Anforderungen zu fundierten Ergebnissen führen. Die Gesamtheit der Anforderungen (als Bewertungskriterien) ergibt sich, wenn Nutzer, Planer und Produzent das technische System unter funktionalen, ökonomischen und organisatorischen Aspekten auf seine Nutzungs-, Planungs- (Entwurfs-) und Produktionsmöglichkeiten hin betrachten (vgl. Abb. 23). Nutzungs- und Planungsmöglichkeiten betreffen vor allem die Leistungsfähigkeit des Systems in funktioneller Hinsicht unter der starken Nebenbedingung ausreichender Wirtschaftlichkeit, die in hohem Maße über die Anschaffungskosten von den Produktionsmöglichkeiten abhängig ist. Damit ergeben sich zwei große Gruppen von Beurteilungskriterien:

a) Kriterien hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des Systems für Planer und Nutzer,

b) Kriterien hinsichtlich der Produktionsmöglichkeiten als kostenbestimmende Faktoren zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der alternativen Bausysteme reicht es im Rahmen der Produktplanung aus, diese an der Gesamtkostengröße: Kosten pro m^2 Wohnfläche zu vergleichen. Bei diesem Vergleich zeigt es sich, daß bei allen drei Systemen die Erstellung von Wohnungen für 600-800 DM/m^2 Wohnfläche möglich ist [42]. Inwieweit sich bei den bisher nur in geringem Maße im Wohnbau ausgeführten Skelettsystemen bei einer hochgradigen industriellen Fertigung der Systemkomponenten Kostensenkungen erzielen lassen, ist schwer abzuschätzen. Aufgrund der ähnlichen Kostensituation sollte sich in Zukunft das Bausystem mit der größten Leistungsfähigkeit durchsetzen.

Tab. 2: Bausysteme für den industrialisierten Wohnungsbau

Systeme	Beschreibung	Werkstoffeinsatz (Rohbau)	Zahl der für den Rohbau zu montierenden Systemkomponenten
Kleintafelsysteme	Tafeln von der Größe eines Wand- oder Deckenteils wirken als Raumbegrenzung und gleichzeitig als Tragstruktur	nur schwere Baustoffe*	mittel
Großtafelsysteme	Tafeln von der Größe ganzer Wände und Decken wirken als Raumbegrenzung und gleichzeitig als Tragstruktur	nur schwere Baustoffe *	gering
Skelettsysteme	Raumbildungs- und Tragfunktion sind zwei verschiedenen Elementgruppen übertragen. Die Tragfunktion übernimmt ein Skelett, dessen Zwischenräume von nichttragenden Platten geschlossen werden	schwere und leichte Baustoffe	sehr groß
Raumsysteme I (skelettgetragen, ausfachend)	Trennung von Raumbildungs- und Tragfunktion. Komplette Raumzellen werden in ein Skelett, das die tragende Funktion übernimmt eingebracht	schwere und leichte Baustoffe	groß
Raumsysteme II (selbsttragend, gestapelt)	Komplette Raumzellen,die sowohl die Raumbildungs- als auch die Tragfunktion übernehmen,werden übereinandergestapelt	nur schwere Baustoffe	sehr gering

* bei Querschottenbauweise auch beschränkter Einsatz von leichten Baustoffen möglich.

Tab. 3: Vergleichende Bewertung von Bausystemen für den industrialisierten Wohnungsbau

BEWERTUNGSKRITERIEN \ BAUSYSTEME		Großtafel-system	Kleitafel-system	Skelett-system	Raumsystem (skelettge-tragen)	Raumsystem (selbst-tragend)	Konventio-neller Wohnungsbau
Offenheit		1	3-4	5	3	1-2	5
Flexibilität		1	3-4	4-5	3-4	2-3	5
Variabilität		1	1-2	5	3	1	1
Verkürzung der Bauzeit		4-5	3	4	5	4-5	1
Vollständiger Trockenbau		3	2-3	4-5	5	4	1
Möglichkeiten zur Demontage und Wiederverwendung der Systemkomponenten		4-5	3-4	4-5	5	3-4	1-2
Möglichkeiten zur Integration des Innenausbaues		3	1-2	4	5	4	1
Notwendigkeit von besonderen Maßnahmen für	Wärmespeicherung	4-5	4-5	1-2	2	4-5	4-5
	Wärmedämmung	2-3	2-3	5	5	2-3	3
	Schallschutz	5	5	2	2	5	5
	Brandschutz	5	5	2-3	2	5	5
Gesamtwertung		33-37	32-40	40-45	40-41	35-41	32-34

Bewertungsschema: 5=sehr gut, 4=gut, 3=befriedigend, 2=ausreichend, 1=schlecht

Eine vergleichende nominale Bewertung der Bausysteme ohne Gewichtung der Bewertungskriterien zeigt eine Überlegenheit des Skelettsystems (vgl. Tab. 3 und 4). Auch bei einer unterschiedlichen Gewichtung der Bewertungskriterien wird sich das Skelettsystem bei den meisten Kombinationen von Gewichtsfaktoren als überlegen erweisen, da es hinsichtlich vieler Bewertungskriterien dominant ist. Durch seine Einsatzvariabilität (Offenheit; vgl. Tab. 4) eröffnet es auch das größte Marktpotential.

Tab. 4: Erläuterung einiger Begriffe aus Tab. 3

Bausystem: abgegrenzte Anordnung von montierbaren Bauelementen, die nach bestimmten Regeln untereinander und mit der Systemumgebung in Wechselwirkung stehen
Offenheit: die Anwendung des Systems muß in mehreren Bereichen (z. B. Wohnungsbau, Schulbau, Verwaltungsbau u.s.w.) möglich sein
Flexibilität: die Bauelemente müssen vielseitig verwendbar sein und in beliebiger Form zusammengefügt und getrennt werden können
Variabilität: die bauliche Struktur muß eine veränderbare Aufteilung der Grundrisse und damit eine Nutzungswandlung ständig zulassen

Hinsichtlich der Werkstoffe muß auf der Stufe der Produktplanung festgestellt werden, ob werkstoffseitig Restriktionen bezüglich der Verwirklichung der Konzepte bestehen [43]. Dazu ist es notwendig, daß die auftretenden Anforderungen überschlägig erfaßt werden.

Treten werkstoffseitig Restriktionen auf, ist zu untersuchen, ob das Konzept zu modifizieren oder ob die Entwicklung eines Werkstoffes möglich ist, der den auftretenden Anforderungen gerecht wird (vgl. Abb. 1 und 2). Die zielgerichtete Entwicklung eines Werkstoffes nach Maß (vgl. Kapitel 2.1) hat hier seinen Ausgangspunkt.

Mit der Entscheidung für ein bestimmtes Konzept sind für die Werkstoffauswahl die ersten Weichen gestellt. So wird z.B. aufgrund der Entscheidung, ein Skelettsystem zu entwickeln, bei dem Tragfunktion und Raumbildungsfunktion verschiedenen Systemkomponenten übertragen sind (vgl. Tab. 2), auch der Einsatz leichter und leichtester Baustoffe möglich. Im Vergleich dazu ist bei der Tafelbauweise eine weitgehende Beschränkung auf schwerere Baustoffe gegeben; denn für die tragenden Bauelemente sind mit Rücksicht auf geringe Formänderungen Werkstoffe mit hohem Elastizitäts-Modul erforderlich [44]. Durch die Trennung von Tragfunktion und Raumbildungsfunktion wird die an sich schon sehr große Vielseitigkeit an Werkstoffen in der Bautechnik weiter erhöht.

3.3.2 Produktentwicklung und Produktgestaltung

Nach der im Rahmen der Produktplanung durchgeführten Bestimmung zukünftiger Märkte und der Auswahl von Konzepten für diese Märkte (Beispiel: Wohnungsbaumarkt, Konzept - Skelettsystem) sind im Rahmen der Produktentwicklung die Konzepte zu konkretisieren, d.h. die einzelnen Produkte der Konzepte sind zu bestimmen. Dies erfordert eine systematische Auflösung der Konzepte bzw. Systeme.

Die Elemente eines technischen Systems kann man nach funktionellen Gesichtspunkten in Subsysteme zusammenfassen. In Abb. 24 ist die Zerlegung eines Bausystems, bei dem Tragfunktion und Raumbegrenzungsfunktion von verschiedenen Elementen übernommen werden (z.B. Skelettsystem), nach funktionellen Gesichtspunkten durchgeführt.

Mit zunehmender Dekomposition kommt man zu den einzelnen Produkten, aus denen ein technisches System besteht. Die in Abb. 24 angeführten Produkte eines Bausystems lassen sich zu komplexeren Produktkombinationen mit Elementen aus verschiedenen Funktionsgruppen zusammenfassen. So ist z.B. eine Integration versorgender und ausbauender Elemente in raumbildende Elemente denkbar.

Nachdem bisher vor allem marktspezifische Einflüsse im Vordergrund standen, sind in die weiteren Überlegungen in verstärktem Maße unternehmensspezifische Einflußgrößen einzubeziehen. In Abhängigkeit von der speziellen unternehmerischen Situation gilt es z.B. zu entscheiden, welche Produkte im Unternehmen selbst gefertigt werden sollen und welche zweckmäßigerweise von außen zu beziehen sind. In Abb. 25 ist angedeutet, welche Kriterien für diese Entscheidung relevant sein können.

Am Ende der Produktentwicklung stehen konkrete Vorstellungen über die zukünftig im Unternehmen zu fertigenden Produkte. So ist z.B. für die Herstellung eines Skelettsystems für den Wohnungsbau folgende Entscheidung denkbar: Ein Unternehmen produziert nichttragende Wandelemente unter Integration von Innenausbau und Installation, während das Skelett von einem anderen Unternehmen produziert wird, das bisher schon im Stahlbau tätig war.

Im Rahmen der Produktgestaltung erfolgt die endgültige Gestaltung und Berechnung der neuen Produkte. Am Ende stehen die einzelnen konstruktiv realisierten Produkte, die in das Produktprogramm aufgenommen werden [28].

Mit der zunehmenden Konkretisierung der Produkte gewinnen Werkstofffragen auf den Produktentstehungsprozeß einen immer größeren Einfluß, wobei im Rahmen der Produktentwicklung die eigentliche Werkstoffauswahl zu treffen ist. Aus der in Abb. 26 dargestellten Werkstoffeinsatzmatrix kann abgelesen werden, welche Werkstoffgruppen grundsätzlich für die Fertigung der in Abb. 24 abgeleiteten Produkte in Frage kommen. Die Entscheidung darüber, welches der optimale Werkstoff zur Herstellung eines Produktes ist, wird von zwei Ebenen beeinflußt:

a) Marktebene. Im Sinne des Marketing ist die Werkstoffauswahl zunächst im Hinblick auf die vielfältigen Anforderungen der Abnehmer zu optimieren, damit ein sicheres Marktpotential garantiert ist. Neben den Anforderungen hinsichtlich der Funktion des

Produktes hat die prognostizierte Absatzmenge einen entscheidenden Einfluß auf die Werkstoffauswahl. Dies ist im Anhang A an einem konkreten Beispiel dargestellt [45].

b) Unternehmensebene. In einem zweiten Schritt ist zu prüfen, ob die Optimierung der Werkstoffauswahl aus der Sicht des Marktes unter den unternehmensspezifischen Restriktionen zu realisieren ist. So kann für die alternativen Werkstoffe ein unterschiedliches Erfahrungspotential hinsichtlich ihrer Anwendung bestehen. Wird die Verarbeitung eines Werkstoffes erstmalig aufgenommen, so ergibt sich ein erhöhter Aufwand hinsichtlich Forschung und Entwicklung, Lizenzen, Investitionen, Ausbildung usw. Es kann daher durchaus der Fall eintreten, daß einem aus Marktsicht optimalen Werkstoff ein weniger optimaler vorgezogen wird.

Optimale Werkstoffauswahl heißt also, einen ausgewogenen, an den Unternehmenszielen orientierten Kompromiß zwischen den Anforderungen der Abnehmer und den Möglichkeiten des Unternehmens zu schaffen.

In Abb. 27 sind die beiden Stufen der Werkstoffauswahl dargestellt. Im Rahmen dieser Arbeit soll der umrahmte Problemkreis d.h. die Optimierung der Werkstoffauswahl hinsichtlich der Anforderungen aus dem Markt als notwendige Voraussetzung der Optimierung der Werkstoffauswahl aus Unternehmenssicht behandelt werden.

3.4 Zusammenfassung

Die Interdependenzen zwischen Werkstoffeigenschaften, Konstruktion und Fertigung machen es unbedingt erforderlich, daß Werkstoffingenieur, Konstrukteur und Fertigungsingenieur von einem möglichst frühen Zeitpunkt an zusammenarbeiten [46], um eine optimale Werkstoffauswahl zu erreichen (vgl. Abb. 28). Diese Zusammenarbeit ließe sich am effektivsten über den Produktplaner und -entwickler koordinieren (vgl. Abb. 29), da er als erster mit der Entstehung eines Produktes befaßt ist und dabei ständig Informationen zu Werkstoffproblemen, konstruktiven Möglichkeiten und Fragen der Fertigung benötigt. In den späteren Phasen der Konstruktion und Produktion ist er in Zweifelsfällen am besten über die Forderungen des Marktes informiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß im Hinblick auf die Werkstoffe auf den Stufen des Produktentstehungsprozesses hauptsächlich folgende Problemkreise auftreten (vgl. Abb. 20):

a) Anstoß zur Werkstoffentwicklung - Produktplanung
b) Werkstoffauswahl - Produktentwicklung
c) Werkstoffanwendung - Produktgestaltung (Produktion)

Durch die nach Art, Umfang und Gewicht äußerst zahlreichen Einflußgrößen und deren vielfältige Verknüpfungsmöglichkeiten kann ein in jedem Schritt allgemeingültiges Vorgehen zur Werkstoffauswahl beim Produktentstehungsprozeß im Sinne eines "Patentverfahrens" nicht entwickelt werden. Anhaltspunkte zur Erfassung des Werkstoffauswahlprozesses gibt das in Abb. 30 dargestellte Schema, das die grundsätzlichen Zusammenhänge und Tätigkeiten beschreibt, um bei der Produktentstehung den Werkstoff zu bestimmen, der unter Berücksichtigung der Forderungen vom Markt und der Unternehmenssituation die beste Lösung bietet [43].

4. Optimierung der Werkstoffauswahl im Sinne des Marketing

4.1 Einleitung

Das Problem der geeigneten Werkstoffauswahl gehört nicht zum technischen Bereich allein. Vielmehr ist die technische Aufgabe in allen praktisch vorkommenden Fällen mit einer Vielzahl von nichttechnischen Problemen verbunden, die sich jeweils aus den vielfältigen Anforderungen ergeben, die der Abnehmer an die Eigenschaften des Produktes stellt. Die Anforderungen lassen sich im Rahmen einer Anforderungsanalyse in folgende Gruppen einteilen:

a) technische oder funktionelle Anforderungen. Der Abnehmer hat ganz bestimmte Vorstellungen über die Funktionen und Leistungen des Produktes.

b) wirtschaftliche Anforderungen. Die Gewünschte Funktionserfüllung muß bei einem Aufwand möglich sein, der sich in einem abgesteckten Rahmen bewegt.

c) ästhetische und psychologische Anforderungen. Das Produkt soll in seinem Äußeren den Abnehmer zumindest ansprechen.

d) sonstige Anforderungen. Teilweise werden vom Produkt noch Nebenwirkungen erwartet, die häufig irrational sind, z.B. Geltung, Ansehen [47] . Trotzdem sind sie bei der marktorientierten Produktentwicklung zu berücksichtigen.

Tab. 5 zeigt einige Merkmale, die in diesen Gruppen auftreten können.

Da der Werkstoff wesentliches Mittel zur Produktrealisierung ist und die oben aufgeführten Anforderungen an das Produkt gestellt werden, sind bei der Werkstoffauswahl eine Vielzahl von entscheidungsrelevanten Kriterien zu berücksichtigen. Dabei haben die Eigenschaftskomponenten der Alternativen bezüglich der Kriterien unterschiedliche Dimensionen wie

- technische Kenngrößen - monetäre Größen - qualitative Größen.	} quantifizierbare nichtquantifizierbare	Größen

Entscheidungen, bei denen eine Vielzahl von Kriterien zu beachten und/oder kein eindimensionaler (z.B. monetärer) Gesamtwert der Alternativen im Hinblick auf die einzelnen Kriterien zu bestimmen ist, werden als multidimensionale Entscheidungsprobleme bezeichnet [48] .

Grundlage jeder rationalen Entscheidungsfindung ist der Vergleich der Attraktivität oder Wünschbarkeit der Alternativen [49] ; d.h. zur Entscheidungsfindung ist es notwendig, die Produkte aus den alternativen Werkstoffen zu bewerten. Es ist die Alternative zu bestimmen, die für den Abnehmer den größten Wert hat. Für den Wert einer Alternative kann man auch den alten und eingeführten Ausdruck Nutzen verwenden [50] . Nutzen bzw. Nutzwert ist der subjektive, durch die Tauglichkeit zur Bedürfnisbefriedigung bestimmte Wert eines Gutes [51] . Er ist eine Maßzahl, die die relative Wertschätzung des Nutzens einer Alternative zu anderen angibt [52] .

Tab. 5: Mögliche Anforderungen eines Abnehmers an ein Produkt

Technisch-funktionelle Anforderungen	Leistungskenndaten Systemanpassung Verarbeitbarkeit Bedienbarkeit Handlichkeit Übersichtlichkeit Geräuschpegel
Wirtschaftliche Anforderungen	Anschaffungskosten Finanzierungsmöglichkeit Weiterverarbeitungskosten Installationskosten Unterhaltungskosten Betriebskosten Kundendienst
Ästhetische / psychologische Anforderungen	Dekorative Wirkung Formgebung Farbgebung Dimensionierung

Da sich die Gesamteigenschaft einer Alternative A_i aus einer Vielzahl von Eigenschaftskomponenten k_{ij} bezüglich der Kriterien K_j zusammensetzt, ist auch der Nutzen N_i die Summe einer Vielzahl von Einzelnutzen $n_{ij} = f(k_{ij})$ (vgl. Abb. 31, [53]). Mit der zunehmenden Dimensionalität einer Bewertungsaufgabe steigen also die Anforderungen an die Urteilskraft und die gedankliche Übersicht eines Entscheidungsträgers. Er muß [48]:

a) sämtliche Einzelnutzen simultan gedanklich erfassen und wertend gegenüberstellen;

b) die Ergebnisse der Teilvergleiche gedanklich fixieren und sie systematisch unter Berücksichtigung seiner Präferenzen zu einer Gesamtaussage kombinieren.

Bei spontanen ad-hoc-Entscheidungen werden multidimensionale Bewertungsprobleme bewußt oder unbewußt aufgespalten, indem man die an sich simultan vorgegebenen Kriterien nacheinander durchgeht [48]. Jedoch ist der Vorgang, wie das Gesamturteil zustande gekommen ist, nicht nachvollziehbar. Damit ist keine Kontrolle möglich, ob alle relevanten Kriterien berücksichtigt worden sind und ob die Entscheidung rational war. Eine Entscheidung kann als rational angesehen werden, wenn die Entscheidung so zustande kommt, als ob sie bewußt oder mit Überlegung d.h. auf der Basis von Vernunft gefällt wurde [50]. Eine Entscheidung mit der Begründung, daß man einen bestimmten Werkstoff schon immer verwendet habe, kann in diesem Sinne nicht als rational angesehen werden.

Um eine rationale Entscheidung zu gewährleisten, ist es bei multidimensionalen Entscheidungsproblemen notwendig, spontane Urteile durch nachvollziehbare Entscheidungen zu ersetzen [54]. Diese Forderung impliziert, daß

a) die Struktur des Entscheidungsprozesses transparent gemacht wird;

b) eine Methode entwickelt wird, mit deren Hilfe die an zentraler Stelle im Entscheidungsprozeß stehenden Bewertungsvorgänge durchgeführt werden. Durch den Bewertungsvorgang muß den Alternativen ein Nutzen zugeordnet werden können, der die Nutzenbeiträge der Alternativen hinsichtlich aller relevanten Kriterien beinhaltet [55].

4.2 Der Entscheidungsprozeß

4.2.1 Einleitung

Zur Optimierung der Werkstoffauswahl im Sinne einer Marktorientierung ist der Entscheidungsprozeß des Abnehmers abzubilden. Da ein multidimensionales Entscheidungsproblem vorliegt, das keine simultane Lösung erlaubt (vgl. Kapitel 4.1) ist die Komplexität des Problems aufzuspalten. Die Alternativen sind sukzessive an den vorgegebenen Kriterien zu bewerten, um in einem zweiten Schritt aus den Einzelbewertungen ein Gesamturteil zu bilden. Das multidimensionale Bewertungsproblem wird damit über eine Reihe vom Entscheidungsträger leichter durchzuführender eindimensionaler Bewertungen gelöst.

Folgende Elemente bestimmen das Entscheidungsproblem [56]:

a) die vorhandenen Alternativen A_i, von denen eine auszuwählen ist;

b) die Bewertungskriterien (Kriterien) K_j, an denen die Alternativen A_i zu bewerten sind;

c) die Eigenschaften k_{ij} der Alternativen A_i bezüglich der Kriterien K_j;

Diese drei Elemente bestimmen die Entscheidungssituation, die sich in Form einer Matrix darstellen läßt (vgl. Abb. 32 [57, 58]). Zangemeister nennt diese Matrix Zielertragsmatrix, in der die Eigenschaften k_{ij} als Zielerträge bezüglich der Kriterien K_j, die sich aus den vom Entscheidungsträger angestrebten Zielen

ableiten, bezeichnet werden [48]. Jeder Zeilenvektor

$$\left\{k_{ij}\right\} = k_{i1},\ldots k_{ij},\ldots k_{im} \quad .$$

beschreibt eine Alternative A_i.

d) die Bewertung, die jedem Zielertrag k_{ij} einen Teilwert (Teilnutzen $n_{ij} = f(k_{ij})$ zuordnet;

Die Zielertragsmatrix wird zur Nutzenmatrix (vgl. Abb. 32).

e) die Gesamturteile in Form von Gesamtnutzen N_i der Alternativen A_i.

Im folgenden sollen diese Elemente unter dem speziellen Aspekt der abnehmerorientierten Werkstoffauswahl behandelt werden. Dabei werden die Ausführungen so allgemein gehalten, daß sie auf jeden Anwendungsfall zu übertragen sind. Anschließend an das in Kapitel 3. angeführte Beispiel aus dem Bauwesen wird zur Verdeutlichung ein durchgehendes Beispiel behandelt, in dem die Werkstoffauswahl für nichttragende Außenwände zur Ausfachung von Skelettbausystemen oder Tafelbausystemen in Querschottenbauweise für den Wohnungsbau durchgeführt wird.

4.2.2 Die Bewertungskriterien

4.2.2.1 Einleitung

Die Bewertungskriterien haben für unsere Problemstellung in zweifacher Hinsicht Bedeutung:

a) sie dienen zur Bewertung der Alternativen,

b) sie sind Grundlage zur Entwicklung der Alternativen.

Die Alternativen sollten nicht das Ergebnis eines mehr oder weniger intuitiven Vorgehens sein, sondern sie sollten von vornherein im Hinblick auf die Bewertungskriterien entwickelt werden. Wichtiger als die Auswahl der richtigen Alternative ist zunächst die Bestimmung der richtigen Ziele. Wählt man falsche oder zunächst gar keine Ziele, besteht die Gefahr, daß man irrelevante Problemstellungen löst [59]. Die Effektivität des Entwicklungsprozesses kann dagegen gesteigert werden, wenn die Bewertungskriterien schon bei der Entwicklung berücksichtigt werden, da sie die Eigenschaftskomponenten der Alternativen ansprechen, die für den Entscheidungsträger relevant sind. Es lassen sich somit optimale Problemlösungen entwickeln.

Ablauf und Ergebnis des Entscheidungsprozesses werden durch das Zielsystem des Entscheidungsträgers determiniert [60]. Aus dem Zielsystem, das aus der geordneten Menge aller handlungsbestimmenden Ziele besteht, die bei einer rationalen Entscheidungsfindung vom Entscheidungsträger zu berücksichtigen sind [61], leiten sich die Bewertungskriterien für ein Entscheidungsproblem ab [62]. Die zunächst nur global formulierten Ziele, die nicht oder nur schwer zu quantifizieren sind, werden im Zielsystem in einer hierarchischen Struktur nach dem Mittel-Zweck-Prinzip immer weiter aufgegliedert, um so zu operationalen und nachprüfbaren Zielen zu kommen. Ein Ziel ist operational, wenn es in eindeutig verständlichen Größen ausgedrückt werden kann [60].

Die sich bei der zunehmenden Auffächerung des Zielsystems ergebenden Unterziele stellen eine immer genauere Formulierung der angestrebten Wirkung oder Teilwirkung der Alternativen dar, so daß die Beschreibung der Alternativen immer mehr von objektiv ermittelbaren Eigenschaften abhängt [54] . Dies ist mit einer zunehmenden Meßbarkeit der Zielerträge verbunden, wodurch eine objektive Bewertung der Alternativen möglich wird. Die Endpunkte der Zielketten sind also mit den Bewertungskriterien identisch.

Wie weit ein Zielsystem aufzugliedern ist, hängt von den vorhandenen bzw. mit vertretbarem Aufwand zu beschaffenden Informationen über die Alternativen ab. Eine Vielzahl von detaillierten Bewertungskriterien ist ohne Sinn, wenn die benötigten Informationen zur Bestimmung der Zielerträge fehlen. Es wird oft der Fehler begangen, daß die Kriterien für eine Entscheidung mit unendlicher Akribie erfaßt werden, ohne daß dadurch die Entscheidungsfindung wesentlich verbessert wird [57] . Es kann sogar eine Verschlechterung eintreten, da zu viele Daten geschätzt werden müssen.

4.2.2.2 Die Anforderungsstruktur des Abnehmers

Im Rahmen der hier behandelten Problematik stellt sich die Frage nach dem Zielsystem des Abnehmers, wie es beim Kauf eines Gutes vorliegt. Dieses besteht im Hinblick auf ein Produkt aus alternativen Werkstoffen aus den Anforderungen an dieses Produkt. Der Abnehmer wird die Alternative aus dem Werkstoff wählen, die in ihrer Summe der relevanten Eigenschaften seiner Anforderungsstruktur (seinem Zielsystem) am ehesten entspricht. Es ist daher wesentlich für eine erfolgreiche Produktentwicklung, die Anforderungsstruktur zu erfassen (vgl. Kapitel 3.3.1), um daraus die relevanten Bewertungskriterien abzuleiten.

In diesem Zusammenhang sei auf den Prognoseaspekt der Anforderungsanalyse hingewiesen (vgl. Kapitel 3.3.1). Da der Produktentstehungsprozeß einige Zeit in Anspruch nimmt und das Produkt, nachdem es bis zur Marktreife entwickelt worden ist, möglichst lange Teil des Produktionsprogrammes bleiben soll, sind die zukünftigen Anforderungen an das geplante Produkt zu ermitteln. Je besser es gelingt, ein Produkt den Marktanforderungen zum Zeitpunkt seines Einsatzes anzupassen, desto größer wird dessen Absatzpotential sein [53] .

Zur Aufstellung der Anforderungsstruktur ist zunächst nur ein ungeordneter Anforderungskatalog zu erstellen, der entsprechend der hierarchischen Struktur von Zielsystemen geordnet und ergänzt wird. Die Aufstellung der Anforderungsstruktur muß als Rückkopplungsprozeß verstanden werden. Jede Phase des Prozesses wird in der Praxis mehrmals zu durchlaufen sein, ehe die Anforderungsstruktur vollständig erfaßt ist [59] .

Abb. 33 stellt die Anforderungsstruktur an ein Bausystem für den Wohnungsbau dar. Wesentlicher Punkt ist die Gewährleistung der Schutzfunktion für den Menschen, um ihn vor physischen und psychischen Einflüssen zu schützen. Würden die in Abb. 34 am äußeren Kreis dargestellten Einflüsse den Menschen ungestört treffen, so wären sie nur schwer oder überhaupt nicht erträglich. Die Errichtung eines Schutzwalles um den Menschen zieht weitere Forderungen nach sich, die in dem Begriff Behausungsfunktion zusammengefaßt werden können (innerer Kreis in Abb. 34).

Ob der Bauherr zur unmittelbaren oder zur mittelbaren Bedarfsdeckung baut, hat keinen entscheidenden Einfluß auf die in Abb. 33 dargestellte Anforderungsstruktur [47].

Auch wenn der Bauherr nicht selbst in dem von ihm erstellten Gebäude wohnt, wird er daran interessiert sein, daß die menschliche Grundfunktion "Wohnen" [63] ausreichend bei vernünftigen Kosten in diesem Gebäude realisiert werden kann, um den Wohnungen eine Attraktivität zu verleihen, die ihre Vermietung auf Dauer garantiert.

Da die Entwicklung eines kompletten Bausystems ca. 6 bis 10 Jahre dauert und bis zum Jahre 1980 mit einer erheblichen Reduzierung des Wohnungsfehlbestandes gerechnet werden kann, wird der Attraktivität der Wohnungen für die Vermietung eine zunehmende Bedeutung zukommen [64]. Zur Attraktivität zählt mit größter Wahrscheinlichkeit die Möglichkeit, den Wohnungsgrundriß zu variieren (Variabilität). Schon heute weisen Fachleute aller Disziplinen auf die Unangemessenheit endfixierter Nutzungsbereiche in einem Wohnsystem hin. Es werden Wohnsysteme gefordert, die es innerhalb eines wirtschaftlich vertretbaren Rahmens Erst- und Folgebenutzern erlauben, ihre individuellen Wohnwünsche und Wohnnotwendigkeiten durch planungsflexible Maßnahmen verwirklichen zu können [65].

In Tab. 6 sind die Anforderungen aus Abb. 33 noch weiter aufgegliedert worden.

4.2.2.3 Ableitung der Bewertungskriterien

Die vom Markt an ein Produkt (System) gestellten Anforderungen determinieren die Produktfunktionen (Systemfunktionen). An den Endpunkten der Anforderungsstruktur als Zielsystem des Abnehmers lassen sich damit die notwendigen Produktfunktionen ableiten (vgl. Kapitel 4.2.2.1). In Tab. 6 ist dies in der dritten Spalte vorgenommen worden. Statt von Produktfunktionen kann man auch von Produkteigenschaften sprechen. Beide Begriffe sollen hier als synonym angesehen werden.

Nach der Ermittlung der Funktionen für das Gesamtsystem werden die Funktionen der einzelnen Komponenten bestimmt. Dies ist mit keinen besonderen Schwierigkeiten verbunden und bedarf deshalb keiner näheren Erläuterung. In der vierten und fünften Spalte der Tab. 6 sind die Funktionen von nichttragenden Außen- und Innenwänden gekennzeichnet.

Die als notwendig erkannten Produktfunktionen sollen letztlich unter Verwendung von Werkstoffen konstruktiv realisiert werden. Die Werkstoffe müssen dazu bestimmte Eigenschaftsmerkmale aufweisen. Die bisher nur qualitativ verbal aufgeführten Produktfunktionen können daher teilweise in Werkstoffkennwerten ausgedrückt werden. Da man den Werkstoffkennwerten numerische Zielerträge zuordnen kann, wird eine Quantifizierung der Produktfunktionen möglich. Eine umfassende Quantifizierung der Funktionen schafft die Voraussetzung zu einer objektiven Beurteilung der Alternativen im Hinblick auf ihren unterschiedlichen Funktionserfüllungsgrad (vgl. Kapitel 4.2.2.1).

Die Werkstoffkennwerte ergeben sich aus den Berechnungsformeln, die einerseits die technisch-physikalischen Zusammenhänge beinhalten und andererseits der Bestimmung wirtschaftlicher Größen

Tab. 6: Aufgliederung der Anforderungsstruktur aus Abb. 33 und Ableitung der Funktionen eines Bausystems für den Wohnungsbau

1	2	3	4	5
Anforderungen hinsichtlich		Funktionen/ Eigenschaften		
1.2. Gebäude-erstellung	Planung Fertigung Transport Montage	Wirtschaftlichkeit	o	x
1.3. Gebäude-nutzung	Betrieb Veränderungen	Wirtschaftlichkeit	o	x
1.4. Gebäude-demontage	Demontage Wiederverwendung	Wirtschaftlichkeit	o	x
2.1. Temperatur-differenzen	Sonnenstrahlung Temperatur-schwankungen Wärmespannungen Feuer	Keine Zerstörung durch ... Schutz vor ...	o o o o	x
2.2. Druck-differenzen	statische Lasten veränderliche Lasten Stoß u. Druck Wind Transport u. Montage Erddruck Schall (von außen) Schall (innen)		o o o o	x x x
2.3. Wasser/ Feuchtig-keit	innen außen Grundwasser		o o	x
2.4. sonstige Einflüsse	Korrosion Erosion		o o	
2.5. Licht		ausreichende Be-sonnung	(o)	
2.6. Energie	Elektrizität Gas Wärme	sichere und funktionelle Versorgung		
2.7. Wasser				
2.8. Klima				

1	2	3	4	5
Anforderungen hinsichtlich		Funktionen/ Eigenschaften		
2.9. interne In-frastruktur u. Folgeein-richtungen	Verkehrswege Telefon Sicherheits-einrichtungen Garagen Hobbyräume Waschräume Sauna u.s.w.	Möglichkeit zur differenzierten Einrichtung		
2.10. Entsorgung	Abwässer Müll u.s.w.	problemlose Entsorgung		
2.11. Variabilität der Nutzungsbe-reiche	Demontage der Raumbe- Transport grenzungen Montage	einf. Demontage geringes Gewicht einfache Montage		x x x
2.12. Funktiona-lität der Nutzungs-bereiche	Küche Bad Schlafraum Wohnraum u.s.w.	funktionelle Ein-richtung und Raumaufteilung		
3.1. Form	innen	Möglichkeit der Gestaltung ent-sprechend den Vor-stellungen von Pla-nern u. Nutzern	o	x
3.2. Farbe	außen		o	x
3.3. Abmessun-gen			o	
3.4. Einfügung in die Um-gebung			o	

o Funktionen nichttragende Außenwand

x Funktionen nichttragende Innenwand

dienen. Werkstoffkennwerte, an denen exakt der Funktionserfüllungsgrad aufgrund der Werkstoffeigenschaften bestimmt wird, lassen sich bei Funktionen im Hinblick auf ästhetische Anforderungen nicht aufstellen. Es bleibt bei einer verbalen Angabe der Produktfunktionen, der auch nur ein qualitativer Zielertrag der Alternativen gegenüber steht.

Da das Entscheidungsproblem der Werkstoffauswahl darin besteht, aus alternativen Werkstoffen den Werkstoff bzw. die Werkstoffe auszuwählen, die die geforderten Produktfunktionen (in dem weiten Sinne, wie sie hier verstanden werden) optimal verwirklichen, sind mit der Ableitung der notwendigen Werkstoffeigenschaften aus den Produktfunktionen die zur Lösung des Werkstoffauswahlproblems relevanten Bewertungskriterien ermittelt. Die Werkstoffeigenschaften als Bewertungskriterien werden teilweise in Kennwerten angegeben, denen numerische Zielerträge zugeordnet werden können, und teilweise in Begriffen, denen nur qualitative Zielerträge entsprechen (vgl. Kapitel 4.1).

Mit der beschriebenen Vorgehensweise zur Bestimmung der Bewertungskriterien für die Werkstoffauswahl wird eine fundierte Basis für Entwurf und Auswahl von Produkten aus alternativen Werkstoffen geschaffen. Mit den Anforderungen der potentiellen Abnehmer als Ausgangspunkt wird die Grundlage für ein möglichst weites Marktpotential gelegt. Zusammenfassend seien die notwendigen Schritte noch einmal aufgeführt (vgl. Abb. 35):

a) Prognose der zukünftigen Anforderungen der Abnehmer

b) Zusammenfassung der Anforderungen in einem ungeordneten Katalog

c) Ordnung und Ergänzung der Anforderungen in einer Anforderungsstruktur

d) Ableitung der geforderten Produktfunktionen

e) Ableitung der zur Realisierung der Produktfunktionen notwendigen Werkstoffeigenschaften als Bewertungskriterien.

Die für ihre Auswahl durchzuführende Bewertung der Werkstoffe geschieht nicht durch allgemeine Werkstoffeigenschaften unabhängig von einer Anwendung, sondern durch die Beurteilung von konkreten Funktionslösungen d.h. Konstruktionen aus verschiedenen Werkstoffen. Denn es kann nur über die aus Konstruktion und Funktion bestimmter Systeme resultierenden Anforderungen an die einzusetzende Werkstoffe eine Aussage über ihren wirtschaftlich und technisch sinnvollen Einsatz getroffen werden.

4.2.2.4 Die Problematik der wirtschaftlichen Bewertung

Nach dem in Kapitel 4.1 angeführten Anforderungskatalog verlangt der Abnehmer beim Kauf eines Produktes eine möglichst hohe Wirtschaftlichkeit. Mit knappen Mitteln möchte er ein Maximum an Leistung erhalten. Die Produktentwicklung bemüht sich daher, die Probleme primär mit preiswerten Stoffen zu lösen. Bei oberflächlicher Betrachtung verbindet man mit dem Begriff preiswert vor allem die Anschaffungskosten (Anfangskosten [66]) eines Produktes. Diesen kommt zwar eine sehr große Bedeutung zu, es sollten aber noch zahlreiche weitere Kosten berücksichtigt werden, deren

Einfluß oft ebenso bedeutsam ist wie derjenige der Anschaffungskosten. Diese Kosten können als abgeleitete Kosten bezeichnet werden [66].

Unter der Voraussetzung, daß die Abnehmer im Hinblick auf ihr Zielsystem rational handeln, muß man also davon ausgehen, daß für sie die Gesamteinsatzkosten (totale Kosten [66]) eines Produktes von entscheidender Bedeutung sind [21]. Unter den Gesamteinsatzkosten seien die Kosten verstanden, die für den Abnehmer über die gesamte Lebensdauer des Produktes entstehen. Sie setzen sich aus folgenden Größen zusammen, die bei alternativen Werkstoffen für ein Produkt sehr unterschiedlich sein können:

a) Anschaffungskosten

b) Betriebskosten

c) Wartungskosten, Reparaturkosten

d) Vernichtungskosten ./. Wiedergewinnungswert bei Verschrottung

Den Vernichtungskosten wird in Zukunft im Rahmen des immer stärker in den Vordergrund tretenden Umweltschutzes eine steigende Bedeutung zukommen. Handelt es sich bei den Produktalternativen um Investitionsgüter, so ist bei dieser Kostenaufstellung vereinfachend vorausgesetzt, daß die zu erzielenden Einnahmen bei allen Alternativen gleich sind. Unterschiedliche Einnahmen müßten in die Analyse der Gesamtkosten mit einbezogen werden.

Die Anschaffungskosten für den Abnehmer sind identisch mit der Preisforderung des Produktherstellers. Diese ergibt sich aus:

a) den Werkstoffeinsatzkosten

b) den Fertigungskosten

c) den anteiligen Gemeinkosten

d) den Vertriebskosten

e) dem Gewinnzuschlag

Bei einem Bausystem kommen noch die

- Montagekosten für die Systemkomponenten

als wesentlicher Kostenanteil hinzu [67]. Sie sind stark werkstoffabhängig und werden in ihrer Bedeutung oft unterschätzt.

Bei einer Vielzahl von Gebrauchs- und Verbrauchsgütern treten nur einzelne der angeführten Kostengrößen auf. Zum Teil reduzieren sich die Gesamteinsatzkosten auf den Kaufpreis, so daß er in diesen Fällen als Bewertungskriterium herangezogen werden kann.

Die Gesamteinsatzkosten wird der Abnehmer beim Kauf eines Produktes zu minimieren versuchen. Trotzdem wird häufig der Fehler begangen, daß zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit bei der Werkstoffauswahl nur Teilkosten (wie z.B. die Anschaffungskosten oder sogar nur die Materialkosten) erfaßt werden [67]. Dies kann auf die Schwierigkeiten bei der Bestimmung der abgeleiteten

Kosten zurückgeführt werden, da die geeigneten Unterlagen in den seltensten Fällen zur Verfügung stehen. Je vollständiger jedoch die Kosten ermittelt und zur Bewertung herangezogen werden, desto risikoloser wird die Werkstoffauswahl im Hinblick auf die Konkurrenzfähigkeit eines Produktes sein. Die Gesamteinsatzkosten werden daher als Bewertungskriterium zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der Alternativen aus verschiedenen Werkstoffen vorgeschlagen.

Trotz der Schwierigkeiten zur Bestimmung der abgeleiteten Kosten sollten die Unternehmen durch Schaffung detaillierter Kalkulationsunterlagen für die oben angeführten Kosten versuchen, die Wettbewerbsstellung ihrer Produkte zu stärken. Denn der aus der Erweiterung des Werkstoffangebotes resultierende stärkere Wettbewerb wird auch die Abnehmer kostenbewußter machen, so daß sie in zunehmendem Maße Aufschluß über die Gesamtkosten eines Produktes verlangen.

Die rechnerische Bestimmung der Gesamtkosten kann auf verschiedene Arten vorgenommen werden:

a) Alle Kosten können in durchschnittliche jährliche Kosten (K_ϕ) während der erwarteten Lebensdauer des Produktes umgerechnet werden.

b) Alle Kosten können auf den gegenwärtigen Zeitpunkt (t=o) der Anschaffung des Produktes abdiskontiert werden ($K_{t=o}$).

c) Alle Kosten können auf den zukünftigen Zeitpunkt (t=n) des Ablaufs der Gebrauchsdauer des Produktes aufdiskontiert werden ($K_{t=n}$).

Setzt man gleiche jährliche Wartungs- und Betriebskosten voraus, so gilt:

a) $$K_\phi = \frac{(A+V-W)}{n} + \frac{A \cdot m}{100} \qquad (1)$$

b) $$K_{t=o} = A + A \cdot m \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot p} + \frac{V}{(1+i)^n} - \frac{W}{(1+i)^n} \qquad (2)$$

c) $$K_{t=n} = A(1+i)^n + A \cdot m \frac{(1+i)^n - 1}{p} + V - W \qquad (3)$$

Es bedeuten:

A = Anschaffungskosten

p = Zinssatz in %

$i = \frac{p}{100}$ = Zinsfuß

m = jährliche Wartungs- und Betriebskosten, ausgedrückt in % von A

n = Lebensdauer des Produktes

V = Vernichtungskosten

W = Wiedergewinnungswert bei Vernichtung

4.2.2.5 Das Problem der Nutzenunabhängigkeit

Die Lösung eines multidimensionalen Entscheidungsproblems durch die Aufspaltung der zur Entscheidungsfindung notwendigen multidimensionalen Bewertung in eindimensionale Teilurteile (vgl. Kapitel 4.2.1) ist entscheidungstheoretisch nur zulässig, wenn die Zuordnung eines Teilnutzens n_{ij} aufgrund eines Zielertrages k_{ij} unabhängig von den übrigen Zielerträgen der Alternative A_i vorgenommen werden kann [48, 68, 69]. Die Bewertungskriterien K_j müssen nutzenunabhängig voneinander sein, indem die zugeordneten Zielerträge k_{ij} jeweils für sich allein und nicht erst in Verbindung mit anderen Zielerträgen einen Beitrag zum Gesamtnutzen N_i der Alternative liefern [50, 55].

Ist die Nutzenunabhängigkeit der Kriterien nicht gegeben, können keine eindimensionalen Teilurteile abgegeben werden, ohne daß Doppelbewertungen auftreten, die zu falschen Ergebnissen führen [68]. Es sei hier betont, daß unter Nutzenunabhängigkeit keine kausale (technisch-funktionelle) oder stochastische (statistische) Unabhängigkeit der Kriterien gemeint ist, sondern nur Unabhängigkeit im Hinblick auf die Nutzenstiftung [69].

Die Annahme vollkommener Nutzenunabhängigkeit der Kriterien bei einer konkreten in eindimensionale Teilurteile aufgespaltenen Bewertung von Alternativen dürfte eine irrationale Hypothese darstellen. Meist muß eine Alternative eine irgendwie proportionierte Mischung von Zielerträgen darstellen, um überhaupt einen Nutzwert zu repräsentieren. Bei multidimensionalen Bewertungsproblemen besteht also von der Sache her eine allgemeine Nutzenabhängigkeit [48]. So geschieht z.B. die Bewertung der Kosten für eine Alternative immer in Verbindung mit ihren Leistungen. Höhere Leistungen lassen im allgemeinen auch höhere Kosten gerechtfertigt erscheinen.

Nun ist die Annahme berechtigt, daß die Nutzenabhängigkeit nicht über den gesamten Bereich möglicher Zielerträge k_{ij} besteht. Es lassen sich in der Regel Bereiche von Zielertragskombinationen bestimmen, in denen die Zielerträge unabhängig voneinander bewertbar sind. Es genügt daher, statt von der irrationalen Hypothese der vollkommenen Nutzenunabhängigkeit auszugehen, nur eine bedingte Nutzenunabhängigkeit vorauszusetzen.

Die Annahme einer bedingten Nutzenunabhängigkeit, d.h. einer Nutzenunabhängigkeit der Kriterien in bestimmten festgelegten Bereichen, scheint für die Kriterien der technisch-funktionalen und ästhetischen Bewertung plausibel, wenn die Funktionsfähigkeit der Alternativen entsprechend den Vorstellungen der Abnehmer gewährleistet ist. Der Bereich läßt sich nach unten abgrenzen, indem Mindestzielerträge k_{iju} festgelegt werden, die von allen Alternativen erfüllt sein müssen. Erfüllt eine Alternative einen der geforderten Mindestwerte nicht, ist der Gesamtnutzen der Alternative $N_i=0$. Die Alternative scheidet aus dem Auswahlprozeß aus.

Die Mindestzielerträge der technisch-funktionalen Bewertungskriterien ergeben sich aus den Produktbeanspruchungen über Berechnungsformeln und Vorschriften (Gesetze, Normen usw.) (vgl. Kapitel 4.2.2.7). Über eine Prognose muß versucht werden, Veränderungen in den Vorschriften bis zum Einsatzzeitpunkt des Produktes zu berücksichtigen. Hinsichtlich der ästhetischen Bewertung müssen die Mindestzielerträge aus Projektionen über die Entwicklung des allgemeinen Geschmackes abgeleitet werden.

Problematischer scheint es dagegen zu sein, die Obergrenzen k_{ijo} für die Zielerträge festzulegen, um den Bereich der Nutzenunabhängigkeit nach oben abzugrenzen. Lassen sich für einzelne Kriterien Maximalwerte für die Zielerträge bestimmen, über die hinaus eine weitere Steigerung unsinnig ist, bieten sich diese als Obergrenzen k_{ijo} an. Hier sei beispielhaft der Schallschutz genannt, bei dem in Abhängigkeit vom allgemeinen Geräuschpegel und der Grenzkurve des zumutbaren Geräuschpegels eine Obergrenze zu bestimmen ist. Für Kriterien, bei denen sich aus dem sachlichen Zusammenhang keine Obergrenze k_{ijo} ermitteln läßt, ist diese in Verbindung mit den Gesamteinsatzkosten festzulegen.

Zweifelhaft ist, ob eine bedingte Nutzenunabhängigkeit auch hinsichtlich der wirtschaftlichen Bewertung angenommen werden kann. Grundsätzlich muß man davon ausgehen, daß der Abnehmer für einen bestimmten Nutzen, den ihm eine Alternative bietet, bestimmte Gesamteinsatzkosten zu tragen bereit ist.Differieren die effektiven Kosten der Alternativen nach unten oder nach oben gegenüber seinen Vorstellungen, wird er den endgültigen Gesamtnutzen höher bzw. niedriger einschätzen.

Schematisch ist dieser Zusammenhang in Abb. 36 dargestellt. Auf der Abszisse sind die Nutzen N'_i aufgrund der unter Annahme einer bedingten Nutzenunabhängigkeit durchgeführten Bewertung hinsichtlich aller außer den wirtschaftlichen Anforderungen aufgetragen. Auf der Ordinate sind die endgültigen Gesamtnutzen N_i nach der noch ausstehenden wirtschaftlichen Bewertung dargestellt. Die Transformation der Werte N'_i in die Werte N_i findet über die eingezeichneten Nutzenkurven $M_r (r=1,2,...q)$ statt, die die Einschätzung des Nutzens durch den Bewertenden bei verschiedenen Kosten M_r zum Ausdruck bringen. Sie sind hier der Einfachheit halber als Geraden angenommen worden. Die Geraden schneiden die 45°-Linie so, daß für Alternativen A_i, die für die Kosten $M_r (r=1,2,...q)$ den dafür erwarteten Nutzen $N'_{i_{M_r}} (r=1,2,...q)$ bieten,
$N'_i = N_i$ gilt (Punkte 1,1' und 1"). Hat dagegen eine Alternative A_i mit den Kosten $M_r (r=1,2,...q)$

einen Nutzen $N'_i < N'_{i_{M_r}}$, so gilt $N'_i > N_i$ (Punkt 2);

einen Nutzen $N'_i > N'_{i_{M_r}}$, so gilt $N'_i < N_i$ (Punkt 3).

Setzt man für die wirtschaftliche Bewertung Nutzenunabhängigkeit voraus, so gilt:

$$N_i = N'_i + n_{M_r} \qquad (4).$$

$n_{M_r} = f(M_r) = \text{const.}$ ist der Teilnutzen aufgrund der wirtschaftlichen Bewertung bei Gesamteinsatzkosten in Höhe von M_r. Dabei ist

$$n_{M_1} < n_{M_2}, \text{ wenn } M_1 > M_2$$

$$n_{M_1} > n_{M_2}, \text{ wenn } M_1 < M_2$$

$$n_{M_1} = n_{M_2}, \text{ wenn } M_1 = M_2.$$

Nach Gl. (4) ist zur graphischen Ermittlung von N_i jeweils eine Parallele zur 45°-Linie im Abstand $n_{M_r} \cdot \cos 45°$ einzuzeichnen (vgl. Abb. 37), um die entsprechenden Nutzenkurven zur Transformation von N'_i in N_i wie in Abb. 36 zu erhalten.

Die Bewertung unter der Annahme einer Nutzenabhängigkeit zwischen den Gesamteinsatzkosten M_r und dem Nutzen N'_i einer Alternative A_i setzt die Ermittlung der Nutzenkurven M_r aus Abb. 36 voraus. Dies scheint grundsätzlich, jedoch nur mit einem erheblichen Aufwand in der Marktforschung möglich. Es soll daher untersucht werden, in welchem Maße sich die Annahme einer bedingten Nutzenunabhängigkeit auch für die wirtschaftliche Bewertung gegenüber der Bewertung bei Nutzenabhängigkeit auswirkt. Aus Abb. 37 kann man ersehen, daß die Differenz um so größer wird, je weiter der Bereich der bedingten Nutzenunabhängigkeit gewählt wird. Hält sich dieser Bereich in angemessenen Grenzen, bewegt sich der Unterschied in der Bewertung in Größenordnungen, die durchaus zu vertreten sind, wenn man bedenkt, welche Grundgenauigkeit bei der Bestimmung von Nutzwerten möglich ist. Die Annahme einer bedingten Nutzenunabhängigkeit für alle Kriterien ist also durchaus zulässig.

Die bedingte Nutzenunabhängigkeit kann folgendermaßen gedeutet werden. Der Gesamtnutzen N_i einer Alternative A_i setzt sich zusammen aus

a) dem Nutzen $\bar{N}_i$ aufgrund der festgelegten Mindestzielerträge k_{iju}

b) dem Nutzen $\dot{N}_i$ aufgrund der Zielertragsdifferenzen

$$\Delta k_{ij} = k_{ij} - k_{iju} \tag{5}$$

für den Anteil der Zielerträge, der über die Mindestwerte hinausgeht.

Es gilt:

$$N_i = \bar{N}_i + \dot{N}_i \tag{6}$$

4.2.2.6 Differenzierung der Kriterien

Die über die Anforderungen der Abnehmer ermittelten Kriterien zur Werkstoffauswahl sollten im Hinblick auf die Entwicklung und Bewertung der Alternativen differenziert werden. Es ist zweckmäßig, die Kriterien darauf zu untersuchen, ob aufgrund von Zielerträgen $k_{ij} > k_{iju}$ ein Beitrag $\dot{N}_i$ zum Nutzen N_i nach Gl. (6) geleistet wird. Es gibt durchaus Kriterien $\bar{K}_i$, bei denen eine Steigerung der Zielerträge k_{ij} der Alternativen A_i über die geforderten Mindestwerte k_{iju} hinaus keine höhere Einschätzung durch den Abnehmer bewirkt. Mit steigendem Zielertrag k_{ij} ist kein steigender Einzelnutzen $n_{ij} = f(k_{ij})$ verbunden, d.h. $n_{ij} = f(k_{ij})$ ist über den Zielertragsbereich $k_{iju} \ldots k_{ijo}$ konstant (vgl. Abb. 38).

Erhöht man bezüglich der Kriterien $\bar{K}_i$ die Produkteigenschaften, so steht diesem Aufwand kein Ertrag gegenüber, da dadurch keine bessere Bewertung beim Abnehmer und damit keine Verbesserung der

Absatzchancen erreicht wird. Als Beispiel sei hier das Brandverhalten von Wänden angeführt: Eine Erhöhung des Brandschutzes über die gesetzlichen Vorschriften hinaus, bei deren Erfüllung die Funktionsfähigkeit des Produktes gewährleistet ist, stellt keinen erhöhten Kaufanreiz dar.

Bei anderen Kriterien lohnt sich dagegen eine Verbesserung der Zielerträge über den Mindestwert k_{iju} hinaus, da dies eine höhere Bewertung durch den Abnehmer und damit eine Erhöhung der Konkurrenzfähigkeit des Produktes zur Folge hat (z.B. die Erhöhung des Wärme- und Schallschutzes bei Außenwänden). In Abb. 38 ist dies dadurch angedeutet, daß zwischen k_{iju} und k_{ijo} verschiedene Verläufe steigender Einzelnutzen n_{ij} dargestellt sind. In Anlehnung an den im englischen Schrifttum gebräuchlichen Begriff "trade-off-characteristics" [52, 70] seien diese Kriterien Trade-off-Kriterien genannt und im folgenden jeweils mit $\dot{K}_j$ bezeichnet (vgl. Abb. 35).

Die Festlegung der Mindestzielerträge k_{iju} und die Differenzierung der Kriterien machen die in Kapitel 4.2.2.1 angesprochene Bedeutung der Bewertungskriterien für die Entwicklung der Alternativen deutlich. Hier zeigt sich wiederum, wie wichtig die Erarbeitung der Anforderungsstruktur ist, da sie das Fundament aller weiterführenden Arbeiten bildet [53].

4.2.2.7 Beispiel zur Ableitung der Bewertungskriterien

Aus den in Tab. 6 gekennzeichneten Funktionen für nichttragende Außenwände sollen im folgenden beispielhaft die Bewertungskriterien abgeleitet werden. Sie sind in Tab. 7 zusammengefaßt. Die Mindestzielerträge für alle Kriterien und die Höchstzielerträge für die Trade-off-Kriterien werden aus den Vorschriften bzw. den sachlichen Zusammenhängen abgeleitet.

I. Wirtschaftlichkeit

Wie in Kapitel 4.2.2.4 vorgeschlagen, werden die Gesamteinsatzkosten als Bewertungskriterium hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Alternativen herangezogen.

II. Einwirkung von Temperaturdifferenzen

Unter die Einwirkung von Temperaturdifferenzen fallen:

a) die von der Jahreszeit abhängigen tiefen oder hohen Außentemperaturen, die einen Wärmeschutz erfordern

b) Brandwirkungen, die einen Feuerschutz erfordern.

a) Wärmeschutz. Der Wärmeschutz im Wohnungsbau ist in gleichem Maße eine Frage des Wohnkomforts (Raumklima) als auch der Wirtschaftlichkeit (Beheizungskosten). Im stationären Zustand gilt für den Wärmestrom durch eine Wand:

$$Q = k \cdot F(t_1 - t_2) \quad [\text{kcal/h}]$$

mit der Wärmedurchgangszahl k

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_a}} \quad \left[\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2\text{h grd}}\right]$$

Tab. 7: Bewertungskriterien der Alternativen für nichttragende Außenwände

Funktionen			Bewertungskriterium K_j		Trade-off-Kriterium $\dot{K}_j$	Mindestzielertrag k_{iju}	Höchstzielertrag k_{ijo}
			Bezeichnung	Kennwert			
Wirtschaftlichkeit			Gesamteinsatzkosten	[DM/m²]	ja ($\dot{K}_1$)	60 [DM/m²]	25 [DM/m²]
Schutz vor/keine Zerstörung durch	Temperaturdifferenzen	Sonnenstrahlung	Wärmespeichervermögen	Auskühlverhalten A[h]	ja ($\dot{K}_2$)	1 [h]	70 [h]
		Temperaturschwankungen	Wärmedämmung	Wärmedurchlaßwiderstand D[m²h grd/kcal]	ja ($\dot{K}_3$)	0,55[m²h grd/kcal]	2,5[m²h grd/kcal]
		Wärmespannungen	Wärmeausdehnung	Wärmeausdehnungskoeffizient α [1/grd]	nein	$\alpha_1 \approx \alpha_2$	/
		Feuer	Brandverhalten Feuerwiderstand	Baustoffklasse Feuerwiderstandsdauer	nein	A oder F30	/
			Rauchentwicklung Toxizität d.Brandg.	/	nein	ungefährlich	/
	Druckdifferenzen	mechanische Belastungen b. Transport, Montage und Betrieb (Windkräfte)	Biegefestigkeit Druckfestigkeit Stoßfestigkeit Zugfestigkeit	σ [kp/cm²]	nein	$\sigma_{zul}/\sigma \geq 1$	/
		Schall	Schalldämmung	mittl. Schalldämmaß R_m [dB]	ja ($\dot{K}_4$)	25 [dB]	45 [dB]
	Wasser/Feuchtigkeit		Kernkondensat	Kernkondensatmenge G_K [g/m²h]	nein	$G_K \leq 1$ [g/m²h]	/
			Wetterschutz	/	nein	geringe Wartungskosten	/
	Korrosion/Erosion		Korrosions-, Erosionsbeständigkeit	/	nein		/
Aussehen/Gestaltung			Gestaltungsmöglichkeiten		ja ($\dot{K}_5$)	befriedigend	sehr gut

Es bedeuten:

F = Wandfläche senkrecht zum Wärmestrom [m^2]

t_1 = Außenlufttemperatur [grd]

t_2 = Innenlufttemperatur [grd]

α_i = Wärmeübergangszahl innen [kcal/m^2 h grd]

α_a = Wärmeübergangszahl außen [kcal/m^2 h grd]

d_j = Dicke der einzelnen Wandschichten j [m]

λ_j = Wärmeleitzahl der einzelnen Wandschichten j [kcal/m h grd]

Das Verhalten der alternativen Wände hinsichtlich der Wärmedämmung wird durch den Wärmedurchlaßwiderstand

$$D = \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} \quad \left[\frac{m^2 h \text{ grd}}{\text{kcal}}\right]$$

gekennzeichnet.

Das Raumklima ist entscheidend für das Wohlbefinden der in einem Raum sich länger oder ständig aufhaltenden Menschen. Dabei ist der ausgewogene Strahlungsausgleich zwischen ihm und den Raumbegrenzungen wichtiger als die Höhe des Wärmestandes der Raumluft [71] . In Abhängigkeit von der Temperatur der Raumluft müssen die Innenflächen der Außenwände bestimmte Temperaturen haben, damit der Mensch sich behaglich fühlt (vgl. Abb. 39 [72]).

Der in der Norm [73] vom Flächengewicht abhängig vorgeschriebene Wärmeschutz, der in den Jahren 1948 bis 1952 erarbeitet wurde, konnte unter den damaligen Verhältnissen nur ein Mindest-Wärmeschutz sein, um das Nötigste für die Gesundheit der Bewohner und die Beschaffenheit der Bauten zu tun. Ausreichend im Sinne behaglichen Wohnens und niedriger Beheizungskosten ist er nicht [71] . Es wird daher immer wieder die Forderung nach dem sogenannten Voll-Wärmeschutz erhoben, der bei Werten des Wärmedurchlaßwiderstandes von ca. 2,5 $\frac{m^2 h \text{ grd}}{\text{kcal}}$ an den Innenflächen der Außenwände auch an kalten Tagen Temperaturen von +16°C bis +19°C gewährleistet und einen wirtschaftlich günstigen Ausgleich zwischen Investitionen und Heizkosten schafft [71, 74] .

Neben den stationären Verhältnissen sind auch schwankende Außentemperaturen mit in die Überlegungen einzuschließen. Bei sinkenden Außentemperaturen muß ein zu rasches Abströmen der Wärme vermieden werden, während bei steigenden Außentemperaturen gewährleistet sein muß, daß die Hitze nicht in den Raum eindringt. Es wird deutlich, daß die Wärmespeicherung neben der Wärmedämmung ein wichtiger Teil der Wärmeschutzvorkehrungen ist [75] . Das Auftreten tiefer Nachttemperaturen ist nicht so problematisch wie die Auswirkungen der Sonneneinstrahlung, da erstere über eine ausreichend empfindlich reagierende Heizung ausgeglichen werden können. Die Installierung einer Klimaanlage bzw. von Reflexionseinrichtungen wäre mit erheblichen Aufwendungen verbunden.

Einerseits erhöht die Sonneneinstrahlung den Wärmedurchgang, was durch die sogenannte Sonnenlufttemperatur t_{son} berücksichtigt werden kann. Unter der Sonnenlufttemperatur versteht man diejenige hypothetische Außenlufttemperatur, bei der die Wand ohne Bestrahlung denselben Wärmedurchgang hätte wie unter dem Einfluß der Bestrahlung bei der wirklichen Außentemperatur [76].

$$t_{son} = t_a + \frac{A \cdot I}{\alpha_a} \quad [\text{grd}]$$

Es bedeuten:

t_a = Außenlufttemperatur [grd]

A = Absorptionszahl

I = Intensität der Sonnenstrahlung [$kcal/m^2$ h]

α_a = äußere Wärmeübergangszahl [$kcal/m^2$ h grd]

Der Vollwärmeschutz setzt den erhöhten Wärmetransport nach innen auf ein erträgliches Maß herab. Der Einfluß der Sonneneinstrahlung kann auch durch reflektierende Oberflächen herabgesetzt werden.

Andererseits setzt sich die bei periodisch veränderlicher Sonnenstrahlung mit einer Amplitude ϑ schwankende Oberflächentemperatur der Außenwand in das Innere der Wand fort. Dies geschieht abhängig vom Wärmespeichervermögen mit einer gewissen zeitlichen Phasenverschiebung φ und mit einer geringeren Amplitude $f \cdot \vartheta$, wobei der Verkleinerungsfaktor f von der Phasenverschiebung abhängt (vgl. Abb. 40 [76]). Die Abhängigkeit der Phasenverschiebung φ von der Wanddicke und vom Baustoff ist in Abb. 41 dargestellt [76]. Soll im Sommer durch zu hohe Temperaturen an den Innenflächen der Außenwände keine Beeinträchtigung der Behaglichkeit auftreten (vgl. Abb. 39), darf die Phasenverschiebung φ nicht zu gering sein.

Da noch nicht genügend Messungen der Werte φ und f vorliegen, soll als Bewertungskriterium für die Wärmespeicherung das Auskühlverhalten A verwandt werden. Die Phasenverschiebung φ ist um so höher und der Verkleinerungsfaktor f um so geringer, je größer der Wert für das Auskühlverhalten ist. Es gilt:

$$A = W \cdot D \quad [h]$$

$$A = \sum_j \frac{c_j \cdot \varrho_j \cdot d_j^2}{\lambda_j} \quad [h]$$

Es bedeuten:

W = Wärmespeicherfähigkeit [$kcal/m^2$ grd]

c_j = spezifische Wärme [kcal/kg grd]

ϱ_j = Dichte [kg/m^3]

In der Norm sind keine Vorschriften über das Wärmespeichervermögen enthalten. Man hat lediglich zum Ausgleich der niedrigeren Wärmespeicherfähigkeit bei leichten Außenwänden den Mindestwärmedurchlaßwiderstand erhöht. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache und in Anlehnung an die österreichische Norm soll als Mindestwert für die Auskühlung A 1 [h] und als Höchstwert 70 [h] angesetzt werden [77].

Um eine Zerstörung der Außenwände durch Wärmespannungen zu vermeiden, muß auf eine Abstimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten der in einer Alternative verwandten Werkstoffe geachtet werden.

b) Feuerschutz. Zur Vermeidung von Personen- und Vermögensschäden kommt dem Feuerschutz im Bauwesen entscheidende Bedeutung zu. In der Bundesrepublik Deutschland erreichten die Brandschäden im Jahre 1970 eine Höhe von etwa 1 Mrd. DM, wobei 70 % der Schäden hätten vermieden werden können. Damit wird deutlich, daß der Brandverhütung noch stärker als bisher der Vorrang gegenüber der Brandbekämpfung eingeräumt werden muß [78].

Grundsätzlich kann man zwischen brennbaren und nicht brennbaren Baustoffen unterscheiden. Eine weitreichende Verhinderung von Bränden wird durch Verwendung nicht brennbarer oder zumindest schwer entflammbarer Baustoffe erreicht.

Die Norm [79] teilt die Baustoffe hinsichtlich ihres Brandverhaltens in fünf Klassen (vgl. Tab. 8), die Bauteile nach ihrem Feuerwiderstand in Feuerwiderstandsklassen ein (vgl. Tab. 9).

Tab. 8: Einteilung der Baustoffe nach ihrem Brandverhalten [79]

Klasse A1	nicht brennbare Baustoffe
Klasse A2	nicht brennbare Baustoffe
Klasse B1	schwer entflammbare Baustoffe
Klasse B2	normal entflammbare Baustoffe
Klasse B3	leicht entflammbare Baustoffe

Tab. 9: Einteilung der Bauteile nach ihrem Feuerwiderstand [79]

Feuerwiderstandsklasse	Feuerwiderstandsdauer	Bauaufsichtliche Benennung
F 30	30 Minuten	feuerhemmend
F 60	60 Minuten	feuerhemmend
F 90	90 Minuten	feuerbeständig
F 120	120 Minuten	feuerbeständig
F 180	180 Minuten	hochfeuerbeständig

Für nichttragende Außenwände gelten folgende Mindestanforderungen:

- bei Gebäuden mit mehr als zwei Vollgeschossen bis zur Hochhausgrenze müssen die Wände in der Baustoffklasse A oder in feuerhemmender Bauart F 30 ausgeführt sein;

- bei Hochhäusern müssen die Wände aus Baustoffen der Baustoffklasse A bestehen. Baustoffe der Baustoffklasse B sind zugelassen, wenn die Feuerwiderstandsdauer der Wand mindestens F 90 beträgt.

Die weiteste Anwendungsbreite ist also für solche Alternativen gegeben, die entweder aus Baustoffen der Baustoffklasse A bestehen oder die eine Feuerwiderstandsdauer von F 90 haben.

Rauchentwicklung und Toxizität der Brandgase dürfen bei Brandeinwirkungen nicht zu einer Gefährdung der Bewohner führen.

III. Einwirkung von Druckdifferenzen

Die einwirkenden Druckdifferenzen kann man in zwei Gruppen unterteilen:

a) Druckdifferenzen in Form des Schalldrucks

b) Druckdifferenzen in Form von mechanischen Belastungen

a) Schallschutz. Zunehmende Verkehrsdichte und -geschwindigkeit sowie das Zusammenleben vieler Menschen auf immer engerem Raum lassen Maßnahmen zum baulichen Schallschutz in den Vordergrund treten [80]. In den nächsten Jahren wird daher dem Schallschutz im Hochbau besondere Bedeutung zukommen [81].

Man kann zwischen Luft- und Körperschall unterscheiden, wobei es bei Außenwänden auf eine ausreichende Luftschalldämmung ankommt. Das Maß für die Schallstärke ist der Schallpegel L, der in Dezibel (dB) gemessen wird:

$$L = 10 \cdot \lg(p^2/p_o^2) \quad [\mathrm{dB}]$$

Es bedeuten:

p = jeweiliger Schalldruck [N/m^2]

p_o = Bezugsschalldruck (Hörschwelle des menschlichen Ohres für 1000 Hz-Ton) [$2 \cdot 10^{-5}$ N/m^2]

Zur Bestimmung der Luftschalldämmung wird die in Abhängigkeit von der Frequenz gemessene Kurve für den Schallpegel in einem Senderaum L_S mit der gemessenen Kurve in einem Empfangsraum L_E verglichen, wobei zwischen Sende- und Empfangsraum die zu prüfende Wand angebracht ist. Die Differenz der gemessenen Schallpegelkurven ergibt die Schallpegeldifferenz P in Abhängigkeit von der Frequenz

$$P = L_S - L_E \quad [\mathrm{dB}]$$

Der Kennzeichnung der Luftschalldämmung dient das Schalldämmmaß R, das in einem Korrekturglied die Größe der gemeinsamen Trennfläche S der beiden Räume und der Schallschluckfläche A im Empfangsraum berücksichtigt [82]

$$R = P + 10 \lg (S/A) \quad [\mathrm{dB}].$$

R ist von der Frequenz abhängig. Um einen kennzeichnenden Mittelwert zu bekommen, mittelt man die Werte von R über den

Frequenzbereich von 100 bis 3200 Hz. Der Mittelwert wird als mittleres Schalldämmaß R_m bezeichnet und soll als Bewertungskriterium für den Schallschutz verwendet werden.

Bei einschaligen Wandkonstruktionen ist R_m in erster Linie vom Gewicht je Flächeneinheit abhängig (vgl. Abb. 42 [82]). Für die rechnerische Bestimmung gilt [83]:

$$R_m = 18 \cdot \sqrt[6]{G} \quad [\mathrm{dB}]$$

G = Flächengewicht [kp/m^2].

In Deutschland sind für Außenwände in schalltechnischer Hinsicht zur Zeit keine Anforderungen festgelegt. Jedoch zeichnet es sich aufgrund der oben angeführten Gründe ab, daß in nächster Zukunft die Norm in diesem Punkt ergänzt wird. Aus einem Vergleich der in Abb. 43 [84] dargestellten Kurven über den durch Verkehr verursachten Schallpegel (a) und über den zumutbaren Geräuschpegel in einem bewohnten Raum (b) ergibt sich, daß Außenwände ein Mindestschalldämmaß R_m = 25 [dB] haben sollten. Diese Forderung berücksichtigt, daß die Schalldämmung vor allem in den unteren Frequenzbereichen bei Verkehrslärm von Bedeutung ist und daß die Lärmbelästigung mit steigender Stockwerkzahl abnimmt. Die Obergrenze sollte bei einem Schalldämmaß R_m = 45 [dB] liegen, da ähnliche Werte von doppelschaligen Fenstern noch gut zu erreichen sind [81].

b) Festigkeit. Nichttragende Außenwände sind beim Transport, bei der Montage und im Betrieb (vor allem durch Winddruck und -sog) vielfältigen mechanischen Belastungen ausgesetzt, die eine ausreichende Festigkeit hinsichtlich Biege-, Druck-, Stoß- (Schlag-), Scher- und Zugbeanspruchungen erforderlich machen. Soll es zu keinen Beschädigungen oder unzulässigen Verformungen kommen, müssen die auftretenden Spannungen σ kleiner als die zulässigen Spannungen $\sigma_{zul.}$ sein. Als Bewertungskriterium ist entscheidend, ob

$$\frac{\sigma}{\sigma_{zul.}} \leq 1$$

ist. Besonderes Augenmerk ist auf die Krafteinleitung an den Befestigungen mit der Tragkonstruktion zu richten. Mögliche Schwächungen durch Kerben oder Risse sind über entsprechende Beiwerte zu berücksichtigen.

Bei Kunststoffkonstruktionen ist es einfacher, anstatt über zulässige Spannungen über zulässige Verformungen zu dimensionieren. Während die zu einer Verformungsgrenze gehörenden Spannungen in Abhängigkeit von äußeren Einflüssen sehr unterschiedlich sind, stellen dagegen die Grenzwerte der Verformung, bei denen irreversible Formänderungen eintreten, feste Zustandsgrößen dar, die weder von der Zeit noch von der Temperatur noch von der Art der Belastung noch in vielen Fällen vom Umgebungsmedium abhängig sind [85].

Neben der Festigkeitsrechnung ist für die Konstruktionen bei Gefahr der Instabilität auch eine Stabilitätsrechnung durchzuführen.

IV. Einwirkungen von Wasser und Feuchtigkeit

Ein zu hoher Feuchtigkeitsgehalt der Bauteile kann neben den ungünstigen Auswirkungen auf das Raumklima wegen der eintretenden Verminderung der Wärmedämmung zu kostspieligen Schäden führen (Rost, Fäulnis, Verfärbungen, Frostschäden, Quellen, Reißen).

Der im bewohnten Raum gebildete Wasserdampf muß abgeführt und das Eindringen von Niederschlägen verhindert werden. Die im Raum erzeugte Wasserdampfmenge muß nicht - wie häufig behauptet - durch die Wand abtransportiert werden, sondern die Dampfmenge, die sich an den Fenstern niederschlägt und infolge des Luftaustausches durch Fenster und Türen aus dem Raum entfernt wird, reicht bei weitem aus [86]. Das Problem der Dampfdiffusion von außen nach innen infolge sehr hoher Außentemperaturen ist in Mitteleuropa nicht relevant.

Es sind also zwei Problemkreise zu beachten:

a) Vermeidung von Tauwasserbildung

b) Schutz vor Niederschlägen

a) Tauwasserbildung. Kühlt sich feuchte Luft unter den Taupunkt t_S ab, scheidet sich Wasser in Tropfenform (Tauwasser oder Kondenswasser) aus, da der Dampfdruck gleich dem Sättigungsdampfdruck wird. Damit wird deutlich, daß der Feuchtigkeitsschutz eng mit dem Wärmeschutz verbunden ist. Ungenügender Wärmeschutz führt zu niedrigen Temperaturen in der Wand bzw. an der Wandinnenoberfläche, die zu Tauwasserbildung im Wandkern oder an der Wandoberfläche führen kann.

Kondensation an den Wandinnenflächen kann bei Wärmedämmwerten, die über die in der Norm geforderten Mindestwerte hinausgehen, praktisch nicht auftreten, da der Mindestwärmeschutz so festgelegt wurde, daß in Wohnräumen bei üblichen Verhältnissen (Raumlufttemperatur 20°C, relative Luftfeuchtigkeit bis 50 %) sich kein Tauwasser an der Innenseite von Außenbauteilen bilden kann [71].

Beim Feuchtigkeitstransport durch eine Wand handelt es sich hauptsächlich um Dampfdiffusion. Die Kapillarleitung kann vernachlässigt werden, da die Menge des fortbewegten Wassers allein vom Diffusionsvorgang abhängt [87]. Ausgehend von dem in der Regel höheren Dampfdruck p_i des Innenraumes, diffundiert der Wasserdampf zur Wandaußenseite mit dem niedrigeren Dampfdruck p_a. Tauwasserbildung im Wandkern (Kernkondensat) tritt auf, wenn an einer Stelle des Wandquerschnittes der Taupunkt t_S unterschritten wird, d.h. der Dampfdruck gleich dem Sättigungsdampfdruck wird. Das Auftreten von Kernkondensat muß nach Möglichkeit vermieden werden. Dazu kann

- über einen ausreichenden Wärmeschutz dafür gesorgt werden, daß t_S auch bei den ungünstigsten Verhältnissen nicht unterschritten wird;

- eine Dampfsperre in der Wand angeordnet werden. Die Wirkung des Diffusionswiderstandes einer Dampfsperrschicht überwiegt so stark, daß die übrigen Bauteilschichten für den Dampfdruckverlauf fast ohne Bedeutung sind [80]. Wie in Abb. 44 dargestellt, verläuft die Dampfdruckkurve waagerecht bis zur Sperrschicht und

sinkt erst in dieser stark ab. Liegt die Dampfsperre außen, wird der Sättigungsdampfdruck erreicht, und es kommt zur Bildung von Kernkondensat. Die Dampfsperre soll daher möglichst weit innen liegen, da dann der Taupunkt nicht erreicht wird (vgl. Abb. 44).

Kommt es doch zur Bildung von Kernkondensat, muß sich dieses in gewissen Grenzen halten. Die im Bauteil verbleibende Menge muß in trockenen Jahreszeiten wieder abgegeben werden können. Als Bewertungskriterium für die Tauwasserbildung im Wandkern soll daher die unter ungünstigsten Verhältnissen in der Wand verbleibende Kernkondensatmenge G_K herangezogen werden. Als Erfahrungswert gilt, daß die Kernkondensatmenge G_K kleiner als 1 [g/hm^2] sein sollte [80].

Ein Verfahren zur Berechnung der Kernkondensatmenge ist bei Glaser [88] angegeben.

b) Schutz vor Niederschlägen. Um die Durchfeuchtung der Außenwände durch Niederschläge zu verhindern, muß ein ausreichender Wetterschutz vorhanden sein. Im Gegensatz zur Kernkondensatbildung spielt hierbei die Kapillarleitung die entscheidende Rolle. Hat die Wetterschutzschicht die Wirkung einer Dampfsperre, muß auch an der Wandinnenseite eine Dampfsperre vorhanden sein, um das Auftreten von Kernkondensat zu vermeiden (vgl. Abb. 44).

V. Sonstige Einwirkungen

Um Reparatur- und Instandhaltungskosten möglichst niedrig zu halten, sollten die äußeren Schichten auf den Außenwänden weitgehend widerstandsfähig gegen Erosion und Korrosion sein. Durch die steigende Umweltverschmutzung erhält diese Forderung eine immer größere Bedeutung.

VI. Ästhetische Bewertung

Hinsichtlich Form, Farbe und Gestaltung der Oberfläche sowie hinsichtlich der Dimensionierung müssen die Außenwandelemente gewissen ästhetischen Ansprüchen gerecht werden. Dies betrifft sowohl die Gestaltungsmöglichkeiten der Fassade eines Hauses insgesamt mit Hilfe der Außenwandelemente als auch die direkte Wirkung ihres Aussehens im einzelnen auf den Betrachter.

In Tab. 7 ist die Differenzierung der Kriterien in Trade-off-Kriterien und Kriterien, die keine Trade-off-Kriterien sind, angegeben. Bezüglich Wetterschutz und Zerstörung durch Erosion und Korrosion ist davon ausgegangen worden, daß eine Alternative nur dann als funktionsfähig angesehen werden kann, wenn die äußere Wandschicht so beschaffen ist, daß keine nennenswerten Wartungs- und Reparaturkosten auftreten. Damit werden die zur Bestimmung der Gesamteinsatzkosten (vgl. Kapitel 4.2.3) gemachten Einschränkungen zum Teil sachlich begründet.

4.2.3 Die Zielertragsmatrix

Unter Beachtung der ermittelten Bewertungskriterien bzw. Werkstoffeigenschaften sind Produkte aus alternativen Werkstoffen zu entwerfen (vgl. Abb. 45). Neben der Kenntnis der Berechnungsformeln (vgl. Kapitel 4.2.2.7) ist die vollständige Information über die Werkstoffe von entscheidender Bedeutung. Bei unvollständiger Information besteht die Möglichkeit, daß wesentliche Alternativen nicht mit in Betracht gezogen werden.

Für das Gebiet der Werkstoffe ist es charakteristisch, daß die Informationen aus einer Vielzahl von Quellen (wissenschaftliche Zeitschriften, Firmenveröffentlichungen, Untersuchungen im eigenen Unternehmen, persönliches Know-How von Mitarbeitern usw.) zusammengetragen werden, die auf unterschiedlichen Definitionen und Dimensionen basieren können [89]. Dies stellt für den Ingenieur neben seiner eigentlichen Tätigkeit in der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung eine zusätzliche unnötige Belastung dar. Er muß die Informationsflut verarbeiten und die entnommenen Daten klassifizieren und einordnen, so daß sie später verwendet werden können [90].

Dies im Unternehmen meist wenig koordinierte Vorgehen ist sehr unrationell und führt - oft unter dem Vorwand der Rationalisierung - zu nicht sachlich begründeten Beschränkungen in der Materialauswahl. Zur optimalen Werkstoffauswahl sollten dem Ingenieur die Werkstoffdaten einheitlich aufbereitet vorliegen. Ein rascher Zugriff nach den unterschiedlichsten Gesichtspunkten (Werkstoffgruppe, Eigenschaften, Anwendungen usw.) sollte jederzeit möglich sein. Diese Forderungen sind nur über eine Werkstoffdatenbank zu erfüllen.

Die weitgehendsten Überlegungen zielen auf die Errichtung einer zentralen Werkstoffdatenbank in der Bundesrepublik Deutschland auf der Basis der elektronischen Datenverarbeitung außerhalb der Unternehmungen ab [91]. Vor der Errichtung einer externen zentralen Werkstoffdatenbank sind innerhalb der Unternehmen, Verbände und Institute Werkstoffdatenbänke zu errichten. Dies geschieht teils mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung, teils mit manuell betriebenen Karteien. Wie wirkungsvoll auch manuell betriebene Karteien angelegt werden können, hat Selwyn [89] eingehend beschrieben.

In der in Abb. 26 dargestellten Werkstoffeinsatzmatrix (Werkstoff-Produkt-Matrix) ist nur angegeben, in welches Produkt ein Werkstoff grundsätzlich eingehen kann. Für Produkte, die sich aus mehreren Werkstoffen zusammensetzen können und die mehrere Funktionen zu erfüllen haben, ist der mögliche Werkstoffeinsatz im Hinblick auf die Funktionen näher zu bestimmen. Dies kann über Werkstoff-Funktions-Matrizen für jedes einzelne Produkt geschehen (vgl. Abb. 46).

In Abb. 47 ist die Werkstoff-Funktions-Matrix für nichttragende Außenwände dargestellt (hinsichtlich der Funktionen vgl. Tab. 7 und Kapitel 4.2.2.7). Zur Anleitung bei der Konstruktion ist in Abb. 48 die nichttragende Außenwand in Schichten unterteilt worden, die jeweils bestimmte Funktionen zu erfüllen haben. Die Voraussetzungen für einen gezielten Werkstoffeinsatz (vgl. Kapitel 2.1) sind damit geschaffen.

Nicht nur die Aufstellung der Anforderungsstruktur hat sich an den zukünftigen Entwicklungen auszurichten (vgl. Kapitel 4.2.2.2), sondern auch die Ableitung der Alternativen. Werkstoffentwicklungen, die sich bis zum Zeitpunkt des Einsatzes der Produktalternativen und darüber hinaus prognostizieren lassen, müssen Berücksichtigung finden. Läßt man bedeutsame Verbesserungen der Werkstoffeigenschaften, die Entwicklung neuer Werkstoffe, wesentliche Veränderungen bei den Werkstoffpreisen usw. in der Zielertragsmatrix außer acht, verfehlt man das eigentliche Planungsziel.

Zur Herstellung von nichttragenden Außenwänden zeichnet sich neben den immer vielfältigeren Kombinationsmöglichkeiten bei den Sandwichkonstruktionen vor allem die Entwicklung neuer Leichtbetone ab:

a) Abmagerung des Betons durch leichte mineralische Zuschlagstoffe wie Blähton, Bims, Schlacke usw.

b) Abmagerung des Betons durch Schaumkunststoffteilchen, (Styropor-Beton)

c) Verwendung von Kunststoffschäumen als Bindemittel mit leichten mineralischen Zuschlagstoffen (Hartschaumleichtbeton, Kunststoffbeton).

In bezug auf die Preisentwicklung sind keine sehr großen Verschiebungen der derzeitigen Preisrelationen zwischen Stahl, Aluminium, mineralischen Baustoffen und Kunststoffen in Zukunft zu erwarten (vgl. Kapitel 2.2).

Die Berechnung der Gesamteinsatzkosten nach obigem Ansatz (vgl. Kapitel 4.2.2.4) konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden, da detaillierte Unterlagen zur Berechnung der Unterhalts- und Vernichtungskosten in Abhängigkeit vom Werkstoff und der Preisentwicklung nicht zur Verfügung stehen. Berechnungsmethoden und Datenmaterial zur Bestimmung der abgeleiteten Kosten gibt es in den USA in einem viel größeren Maße, da die öffentliche Hand dort ein viel stärkeres Kostenbewußtsein hat als in den europäischen Ländern [66].

Die in Abb. 49 angeführten Kosten beinhalten somit nur:

a) Werkstoffeinsatzkosten

b) Fertigungskosten

c) Transportkosten

d) Montagekosten

Da als Mindestzielertrag hinsichtlich Wetter-, Korrosions- und Erosionsschutz keine nennenswerten laufenden Kosten gefordert werden (vgl. Kapitel 4.2.2.7), ist die Differenz zu den Gesamteinsatzkosten gering. Wegen der gleichen Lebensdauer aller Alternativen und der Elimination der Unterhalts- und Vernichtungskosten aus der Betrachtung ist eine Umrechnung der Kosten nach Gl. (1) bis (3) nicht notwendig.

Abb. 49 stellt die Zielertragsmatrix für nichttragende Außenwände mit den Trade-off-Kriterien K_j aus Tab. 7 dar. Für die aufgeführten Alternativen gilt bei allen Kriterien ($\bar{K}_j$ und $\dot{K}_j$), daß $k_{ij} \geqq k_{iju}$ ist. Die Alternativen seien in diesem Zusammenhang auf einschalige Konstruktionen beschränkt.

Prinzipiell ist eine sehr große Anzahl von Konstruktionen für nichttragende Außenwände möglich. Konstruktionen aus Werkstoffen der jeweils gleichen Werkstoffgruppen weisen jedoch annähernd gleiche Zielerträge auf, so daß man sich auf die angeführten typischen Lösungen beschränken kann.

4.2.4 Bewertung und Auswahl

4.2.4.1 Einleitung

Die angestrebte Entscheidung zwischen den in der Zielertragsmatrix dargestellten Alternativen aus verschiedenen Werkstoffen setzt deren Bewertung voraus [58]. Zur Lösung des multidimensionalen Entscheidungsproblems wurde vorgeschlagen, eine einzelne Meßgröße in Form des Gesamtnutzens N_i zu bestimmen, die eine rationale Entscheidung zwischen den Alternativen ermöglicht [57]. Die Bewertungen, aus denen sich der Gesamtnutzen N_i zusammensetzt, basieren auf den Präferenzen bzw. der Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers. Grundlage der Nutzenbestimmung sind also die subjektiven Wertvorstellungen (das Wertsystem) der/des Entscheidungsträger(s) [48, 58].

Das Wertsystem kann als ein System von Regeln angesehen werden, die angeben, wie die vom Informationssystem in der Zielertragsmatrix geschilderten Konsequenzen der Alternativen auf Grund der Wertempfindungen des Entscheidungsträgers zu bewerten sind [50]. Da es im Rahmen der hier behandelten Problematik nicht um rationale Entscheidungen im Sinne einer substantiellen Rationalität sondern im Sinne einer mehr formalen Rationalität geht, handelt es sich nicht um ein verbindliches, allgemein gültiges Wertsystem, sondern um ein widerspruchfreies Wertsystem, das nur vernünftig im Hinblick auf die verfolgten Zielsetzungen des Entscheidungsträgers ist [48, 50].

Die Problemstellung der Nutzenbestimmung muß streng von der sogenannten Wertanalyse unterschieden werden. Die Wertanalyse ist eine systematische Methode zur Verhinderung, Entdeckung und Beseitigung unnötiger Kosten bei der Erzielung von Produktfunktionen. Dabei wird vom Kostenwert als objektiver Größe ausgegangen [92].

Zur marktorientierten Optimierung der Werkstoffauswahl ist zu bestimmen, wie die Produktalternativen aus verschiedenen Werkstoffen am Markt bewertet werden. Die am höchsten bewertete Alternative kommt den Anforderungen der Abnehmer am besten entgegen und eröffnet damit das größte Marktpotential. Durch Marktforschung ist die für den betrachteten Markt relevante Präferenzstruktur als Durchschnitt aus den Präferenzstrukturen der einzelnen Marktteilnehmer zu ermitteln. Je nach Zahl der Marktteilnehmer kann die Befragung total oder repräsentativ sein. Welche Daten bei verschiedenen Methoden der Nutzenbestimmung zu erheben sind, wird weiter unten beschrieben.

Mit der Problematik

a) die subjektiven Nutzenvorstellungen zu erfassen und diesen über einen Bewertungsvorgang numerische Nutzengrößen zuzuordnen, und dann

b) anzugeben, wie aufgrund der Bewertung zu entscheiden ist,

befaßt sich die Nutzentheorie (utility theory) [93]. Sie basiert auf den möglichen Urteilen eines Entscheidungsträgers zwischen den Alternativen A_i:

a. A_1 wird A_2 vorgezogen; $A_1 \succ A_2$

b. Indifferenz zwischen A_1 und A_2; $A_1 \sim A_2$

c. A_1 wird A_2 nicht vorgezogen; $A_1 \precsim A_2$

Die Nutzentheorie ordnet dem Nutzen der Alternativen numerische Werte $N_i = N(A_i)$ in der Weise zu, daß immer gilt:

a. $N(A_1) > N(A_2)$, wenn $A_1 \succ A_2$ (7)

b. $N(A_1) = N(A_2)$, wenn $A_1 \sim A_2$ (8)

c. $N(A_1) \leqq N(A_2)$, wenn $A_1 \precsim A_2$ (9)

Bei dieser Zuordnung handelt der Entscheidungsträger objektiv rational; d.h. er handelt richtig im Rahmen der allgemein anerkannten Verhaltensnormen, nach denen jeder die Alternative mit einem höheren Nutzen derjenigen mit einem geringeren Nutzen vorzieht [49]. Die Präferenzstruktur eines Entscheidungsträgers im Hinblick auf die Auswahl zwischen verschiedenen Alternativen A_i läßt sich somit in numerische Werte transformieren [93].

Diese numerischen Werte seien im folgenden jeweils als Nutzwerte bezeichnet. Sie sind nicht direkt als Ertragsgrößen zu verstehen, sondern als dimensionslose Ziffern (Indices), die für sich allein ohne jeden Aussagewert sind. Nur in Relation zueinander geben sie die Werteinschätzung des Entscheidungsträgers an (vgl. Kapitel 4.1).

Liegt ein multidimensionales Entscheidungsproblem vor, bei dem die Eigenschaften k_{ij} der Alternativen A_i sukzessive an Kriterien K_j bewertet werden, die aus dem Zielsystem des Entscheidungsträgers abgeleitet worden sind, (vgl. Kapitel 4.2.2.1), ist es bei Nutzenunabhängigkeit der Kriterien (vgl. Kapitel 4.2.2.5) und kardinaler Nutzenmessung zulässig, den Nutzwert N_i der Alternativen A_i additiv aus den Einzelnutzwerten $n_{ij} = f(k_{ij})$ zusammenzusetzen [69, 94]:

$$N_i = \sum_{j=1}^{m} n_{ij} \tag{10}$$

Die Gesamtnutzwerte N_i der Alternativen A_i ergeben sich also durch Addition der Einzelnutzwerte n_{ij} über die Zeilen der durch den Bewertungsvorgang erhaltenen Nutzenmatrix (vgl. Abb. 32).

Die Einzelnutzen n_{ij} sollen nun einer näheren Betrachtung unterzogen werden. Wie in Kapitel 4.2.2.5 beschrieben, setzt sich der Gesamtnutzen N_i einer Alternative A_i nach Gl. (6) aus dem Nutzen $\bar{N}_i$, der auf der Gesamtheit aller geforderten Mindestzielerträge k_{iju} basiert, und aus dem Nutzen $\dot{N}_i$, der auf den Zielertragsdifferenzen $\Delta k_{ij} = k_{ij} - k_{iju}$ basiert, zusammen.

$$N_i = \bar{N}_i + \dot{N}_i$$

$$N_i = \sum_{j=1}^{m} n_{ij} = \sum_{j=1}^{m} (\bar{n}_{ij} + \dot{n}_{ij}) \tag{11}$$

$$\bar{N}_i = \sum_{j=1}^{m} \bar{n}_{ij} \tag{12}$$

$$\dot{N}_i = \sum_{j=1}^{m} \dot{n}_{ij} \tag{13}$$

mit:

$$\bar{n}_{ij} = f(k_{iju}) \tag{14}$$

$$\dot{n}_{ij} = f(\Delta k_{ij}) = f(k_{ij} - k_{iju}), \text{ wenn } k_{ij} > k_{iju} \tag{15}$$

Die Bestimmung von $\bar{N}_i$ kann als Grundbewertung angesehen werden, um einen Mindestnutzen zu bestimmen, der vom Abnehmer von einer Alternative A_i gefordert wird, damit er sie als funktionstüchtig ansieht (funktionstüchtig nicht nur im Sinne der technischen Funktionen, sondern unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen und sonstigen Anforderungen). Jede Alternative muß im Rahmen dieser Grundbewertung hinsichtlich aller Kriterien K_j den geforderten Mindestzielerträgen k_{iju} gerecht werden, um im Entscheidungsprozeß überhaupt für den Entscheidungsträger attraktiv zu sein (vgl. Kapitel 4.2.2.5). Es gilt also für alle Alternativen A_i $(i = 1,2,...n)$, die im Entscheidungsprozeß verbleiben

$$\bar{N}_1 = \bar{N}_2 = \ldots \bar{N}_i = \ldots \bar{N}_n \tag{16}$$

Im Rahmen der Grundbewertung ist es daher nicht notwendig, die geforderten Mindestnutzen $\bar{N}_i$ explizit zu bestimmen. Es müssen nur die effektiven Zielerträge k_{ij} aus der Zielertragsmatrix mit den geforderten Mindestzielerträgen k_{iju} verglichen werden, um Alternativen mit Zielerträgen

$$k_{ij} < k_{iju}$$

aus dem Entscheidungsprozeß zu eliminieren.

In Kapitel 4.2.2.6 wurden die Kriterien nach Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ und nach Kriterien $\bar{K}_j$, die keine Trade-off-Kriterien sind, differenziert. Nach den dort gegebenen Definitionen gilt für die Bewertung $n_{ij} = f(k_{ij})$ bei Zielerträgen $k_{iju} \leqq k_{ij} \leqq k_{ijo}$ hinsichtlich eines Kriteriums $\bar{K}_j$ (vgl. Abb. 38):

$$n_{ij} = \bar{n}_{ij} = \text{const.}, \text{ da } \dot{n}_{ij} = 0.$$

Für die Bewertung hinsichtlich der Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ gilt (vgl. Abb. 38):

$$n_{ij} = \bar{n}_{ij} + \dot{n}_{ij}, \text{ da } \dot{n}_{ij} \geqq 0.$$

Es ergibt sich der in Abb. 50 dargestellte Zusammenhang, wenn mit z die Anzahl der Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ bezeichnet ist. Da für alle Alternativen A_i, die nach der Grundbewertung noch im Auswahlprozeß verblieben sind, Gl. (16) gilt, genügen zur Auswahlentscheidung die Werte

$$\dot{N}_i \gtreqqless \dot{N}_2 \gtreqqless \ldots \dot{N}_i \gtreqqless \ldots \dot{N}_n \tag{17}$$

mit

$$\dot{N}_i = \sum_{j=1}^{z} \dot{n}_{ij} \tag{13a}$$

d.h. die Bewertung braucht nur hinsichtlich der Anzahl z der Trade-off-Kriterien vorgenommen werden. Damit reduziert sich das Bewertungsproblem erheblich, da explizit nur noch die Einzelnutzen

$$\dot{n}_{ij} = f(\Delta k_{ij}) \quad (j = 1,2,\ldots z) \tag{15}$$

ermittelt werden müssen. Die Nutzenmatrix (vgl. Abb. 32) reduziert sich um m-z-Spalten [52].

Für die Auswahlentscheidung gilt also (vgl. Gl. (7) bis (9)):

$$A_1 \succ A_2, \text{ wenn } \sum_j \dot{n}_{1j} > \sum_j \dot{n}_{2j} \tag{18}$$

$$A_1 \sim A_2, \text{ wenn } \sum_j \dot{n}_{1j} = \sum_j \dot{n}_{2j} \tag{19}$$

$$A_1 \precsim A_2, \text{ wenn } \sum_j \dot{n}_{1j} \leqq \sum_j \dot{n}_{2j} \tag{20}$$

$$\text{für } j = (1,2,\ldots z)$$

bei Erfüllung der Mindestbedingung

$$k_{ij} \geqq k_{iju} \quad \text{für } j = (1,2,\ldots z,\ldots m)$$

durch die Alternativen A_i.

4.2.4.2 Der Bewertungsvorgang

Der Bewertungsvorgang, d.h. die Zuordnung der Nutzwerte $\dot{n}_{ij}$ zu den Zielertragsdifferenzen Δk_{ij}, soll nun näher analysiert werden. Formal besteht die Bewertungsaufgabe darin, jeweils eine Menge von Elementen unter einheitlichen Gesichtspunkten miteinander zu vergleichen und entsprechend den Präferenzen des Bewertenden zu ordnen. Eine vergleichende Einstufung solcher Elemente ist aber nichts anderes als die Vornahme einer Messung [50]. Messen ist ein Zuordnen von Zahlen zu Objekten nach einer Regel, so daß bestimmte Relationen zwischen den Zahlen analoge Relationen zwischen den Objekten reflektieren [48].

Zur Messung bzw. Bewertung sind Meßverfahren festzulegen, nach denen die Zielerträge zu bewerten sind. Die Meßverfahren kann man nach den verschiedenen Möglichkeiten der Skalenbildung unterteilen, denn Messen - und demnach auch Bewerten - bedeutet Aufstellen einer Skala, deren Zahlenwerte den einzelnen zu messenden Elementen beigelegt werden können [50]. Die Skalen beruhen auf unterschiedlich strengen Maßen. So liegt eine Messung nicht nur dann vor, wenn jedem zu messenden Element eindeutig eine reelle Zahl zugeordnet wird, sondern bereits dann, wenn die Elemente durch den Meßvorgang irgendwie geordnet werden.

Die möglichen Skalentypen sind [48, 50, 62]:

a) Nominalskalen

Die einfachste Messungsart besteht darin, eine Menge von Elementen aufzuteilen, wobei den Elementen verschiedene Klassenbezeichnungen (Namen) zugeordnet werden. Alle Elemente einer Klasse sind namensgleich und in gewissen Grenzen identisch im Hinblick auf die gemessenen Eigenschaften. Klassenbezeichnungen können Zahlen ebenso gut wie verbale Ausdrücke sein.

Die Zahlen dienen bei der Nutzenmessung mit einer Nominalskala lediglich als Namen nutzenäquivalenter Elemente (Alternativen). Ihre sonstigen Eigenschaften (Abstand, Ordnung usw.) spielen keine Rolle. Inwieweit gleiche Klassenzugehörigkeit Nutzengleichheit bedeutet, hängt von der Feinheit der vorgenommenen Differenzierung, d.h. von der Anzahl der verwandten Klassen ab.

b) Ordinalskalen

Unterscheidet man nicht nur zwischen Nutzengleichheit und -verschiedenheit, sondern will man auch eine Aussage über die Richtung der Nutzenunterschiede machen, kann das mit Hilfe der Ordnungseigenschaft der Zahlen über die Relation "größer als" (>) erfolgen. Die Alternativen A_i ($i = 1,2,...n$) können in eine Rangfolge gebracht werden, wobei das Urteilsschema gewöhnlich aus der Zahlenfolge 1 bis n besteht.

1(n) wird der Alternative mit dem höchsten Nutzen, 2(n-1) der Alternative mit dem darunter liegenden Nutzen usw. zugeordnet.

c) Intervallskalen

Unterstellt man, daß die numerischen Differenzen der zur Messung verwandten Zahlen für das vorliegende Bewertungsproblem von empirischer Bedeutung sind, so können die Nutzenunterschiede wiedergegeben werden. Der Meßwert kann als ein Vielfaches einer willkürlich festsetzbaren Nutzeneinheit verstanden werden. Die Bewertung auf der Grundlage einer Intervallskala entspricht den allgemeinen Vorstellungen einer quantitativen Messung im engeren Sinne, da nicht nur die Elemente selbst sondern auch die Differenzen zwischen Paaren von Elementen vergleichbar gemacht werden.

d) Verhältnisskalen

Die stärkste Form der Skalierung wird erreicht, wenn nicht nur Einheiten mit einheitlichen Intervallen auf der Meßskala gegeben sind (wie bei den Intervallskalen), sondern auch der Nullpunkt der Meßskala eindeutig festgelegt ist. Damit ist nicht nur das Verhältnis zwischen den Nutzendifferenzen fixiert, sondern auch das Verhältnis zwischen den Nutzengrößen selbst.

Intervallskalen und Verhältnisskalen werden auch als Kardinalskalen bezeichnet.

Durch die Möglichkeit, die Alternativen an den unterschiedlichen Skalen zu messen, können sich in ein und derselben Entscheidungssituation unterschiedliche Nutzen (-maße) ergeben. Dies widerspricht nicht den Regeln für die Bewertung von Handlungsalternativen in der Entscheidungstheorie, da diese nicht voraussetzen,

daß eine mit Sicherheit als vorhanden anzusehende Entität "subjektiver Wert von Alternativen" gemessen wird, sondern daß jeweils nur einfach ein Begriff "Wertskala" definiert wird [50]. Es stellt sich in diesem Zusammenhang grundsätzlich nicht das Problem der empirischen Gültigkeit von Nutzenmaßen, sondern es geht um die Frage, ob die der Nutzenermittlung zugrunde liegende Skalierungsmethode dem allgemeinen Messungszweck, nämlich die Entscheidungsfindung zu verbessern, im Einzelfall gerecht werden kann [48].

Um die Urteilskraft des Bewertenden nicht zu überfordern, kann die Bewertung der Alternativen in zwei Teilschritten durchgeführt werden:

a) Zunächst wird die relative Bedeutung bestimmt, die der Bewertende entsprechend seiner Präferenzen den Trade-off-Kriterien für die Entscheidung untereinander beimißt. Sie wird in Gewichtsfaktoren g_j zum Ausdruck gebracht, die rein subjektiv das relative Gewicht als Maßstab für die Bedeutung der $\dot{K}_j$ im Vergleich zu den anderen Kriterien angeben.

b) Im zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der Zielertragsdifferenzen $\Delta k_{ij} = k_{ij} - k_{iju}$, so daß gilt

$$\dot{n}_{ij} = g_j \cdot e_{ij} \quad (21) \qquad \text{mit} \qquad e_{ij} = f(\Delta k_{ij}) \quad (22).$$

4.2.4.2.1 Gewichtsbestimmung

Bei der Festlegung der Gewichtsfaktoren muß eine mehr oder weniger willkürliche direkte Auswahl von Werten (z.B. Faktoren wie 1,2,5,10 usw.) möglichst vermieden werden, da bei diesem Vorgehen die Gefahr unkontrollierter Urteilsverzerrungen zu groß ist. Korrekter ist es, die Gewichtsfaktoren der Kriterien auf der Basis einer Vielzahl von Einzelpräferenzentscheidungen zu bestimmen [52].

Folgende Gewichtsverhältnisse $g_1/g_2 = q$ sind grundsätzlich möglich:

a) $g_1/g_2 > 1$

Der Bewertende mißt dem Kriterium $\dot{K}_1$ eine höhere Bedeutung zu als dem Kriterium $\dot{K}_2$.

b) $g_1/g_2 = 1$

Für den Bewertenden sind die Kriterien $\dot{K}_1$ und $\dot{K}_2$ von gleicher Bedeutung.

c) $g_1/g_2 < 1$

Der Bewertende mißt dem Kriterium $\dot{K}_1$ eine geringere Bedeutung zu als dem Kriterium $\dot{K}_2$.

Aufbauend auf diesen grundsätzlichen Urteilen, die vom Bewertenden relativ einfach abgegeben werden können, ist im folgenden ein Verfahren dargestellt, mit dem zunächst die Rangfolge der Kriterien bestimmt werden kann [52]. Es wird dabei vom Bewertenden nicht verlangt, mehr oder weniger willkürliche Gewichtsfaktoren anzugeben, sondern ihre Rangfolge wird mit Hilfe der

genannten Einzelpräferenzentscheidungen durch den Vergleich aller Kriterien untereinander bestimmt.

Die als Trade-off-Kriterien erkannten Bewertungskriterien werden in beliebiger Reihenfolge untereinander geschrieben. Der Vergleich wird jeweils durch die Indexzahlen der miteinander verglichenen Kriterien gekennzeichnet. Z.B. für den Vergleich von $\dot{K}_1$ mit $\dot{K}_2$, $\dot{K}_3$ .... $\dot{K}_z$ entstehen folgende Zahlenpaare:

$$\binom{1}{\nu}, \quad \nu = 2, 3 \ldots z$$

Das in einem solchen Paar dominierende Kriterium wird durch einen Kreis gekennzeichnet. Beim Ausfüllen der in Abb. 51 dargestellten Tabelle ist auf die Einhaltung der Transitivitätsregel zu achten. Sie lautet:

aus $g_1 > g_2$ und $g_2 > g_3$ folgt $g_1 > g_3$.

Werden zwei Kriterien als gleichwertig eingestuft, so wird das zugehörige Zahlenpaar gemeinsam umrandet. Zählt man die Häufigkeiten aus, mit denen Kreismarkierungen bei jeder Ziffer vorkommen, so stellt man die Rangordnung der Kriterien fest. Bei Zahlenpaaren, die wegen der Gleichwertigkeit der Kriterien eine gemeinsame Umrandung aufweisen, wird jeder Ziffer der Wert 0,5 zugeordnet. Um das Auftreten der Gewichtung 0 zu vermeiden, wird jeder Zeile der Vergleichstabelle eine beim Auszählen der Häufigkeiten mitzuzählende Ziffer vorangestellt.

Die direkte Verwendung der ermittelten Rangfolgeziffern als Gewichtsfaktoren ist nicht zulässig, da nur eine Ordinalskalierung vorliegt, bei der die Differenzen zwischen den Zahlenwerten ohne Aussage sind (vgl. Kapitel 4.2.4.2). Aus Abb. 51 kann nur geschlossen werden, daß

$$g_2 = g_4 > g_5 > g_1 > g_3$$

ist.

Eine Verwendung von Gewichtsfaktoren im Sinne von Gl. (21) verlangt jedoch ihre kardinale Skalierung, so daß in einem zweiten Schritt die Differenzen zwischen den Gewichtsfaktoren entsprechend den Präferenzen des Bewertenden bestimmt werden müssen. Dies kann mit Hilfe der Methode der sukzessiven Vergleiche geschehen, die nach folgenden Verfahrensschritten abläuft [95]:

a) Als vorläufige Gewichte werden dem ranghöchsten Kriterium der Gewichtsfaktor $g_1 = 1{,}0$ und den übrigen Kriterien Gewichtsfaktoren entsprechend ihrer Bedeutung zugeordnet, so daß gilt:

$$1 > g_j > 0$$

b) Der Bewertende entscheidet, ob das Kriterium mit dem Gewichtsfaktor $g_1 = 1{,}0$ wichtiger als alle anderen Kriterien zusammen ist.

- Ist dies der Fall, so korrigiert er den Wert von g_1, bis er größer als die Summe der restlichen Gewichtsfaktoren ist:

$$g_1 > \sum_{j=2}^{z} g_j$$

- Ist dies nicht der Fall, verringert er g_1, bis

$$g_1 < \sum_{j=2}^{z} g_j$$

ist.

c) Der Bewertende entscheidet, ob das zweitwichtigste Kriterium wichtiger als die Summe aller in der Rangfolge tieferen Kriterien ist. Er verfährt, wie in b) für g_1 beschrieben.

d) Das Verfahren wird so oft wiederholt, bis z - 1 Kriterien bestimmt worden sind.

Die Gewichtsfaktoren müssen über den definierten Bereich der bedingten Nutzenunabhängigkeit nicht konstant sein. Zur Vereinfachung wird in allen praktischen Anwendungen jedoch mit konstanten Gewichtsfaktoren gerechnet.

4.2.4.2.2 Skalenvereinheitlichung

Der maximale Einzelnutzwert n_{ijmax}, den eine Alternative A_i bezüglich eines Kriteriums $\dot{K}_j$ haben kann, tritt auf, wenn die Alternative A_i bezüglich eines Kriteriums $\dot{K}_j$ den maximal möglichen Zielertrag k_{ijmax} aufweist. Die zur Abgrenzung des Bereiches der bedingten Nutzenunabhängigkeit festgelegten Obergrenzen k_{ijo} für die Zielerträge bieten sich als maximal mögliche Zielerträge an, da eine weitere Steigerung über sie hinaus aus dem sachlichen Zusammenhang heraus nicht sinnvoll ist.

$$k_{ijmax} = k_{ijo} \tag{23}$$

$$n_{ijmax} = f(k_{ijo}) \tag{24}$$

Im Zusammenhang mit Gl. (15) gilt:

$$\dot{n}_{ijmax} = f(\Delta_{max} k_{ij}) \tag{25}$$

$$\dot{n}_{ijmax} = f(k_{ijo} - k_{iju}) \tag{26}$$

Je höher die relative Bedeutung eines Kriteriums $\dot{K}_j$ eingeschätzt wird, desto größer muß der maximal mögliche Einzelnutzwert $\dot{n}_{ijmax}$ sein, der diesem Kriterium zugeordnet werden kann. Die Gewichtsfaktoren g_j geben an, in welchem Verhältnis die maximalen Einzelnutzwerte der Kriterien zueinander stehen.

Legt man das Gewicht des am höchsten eingeschätzten Kriteriums $\dot{K}_1$ mit $g_1 = 1$ fest, so gilt

$$g_j = \frac{\dot{n}_{ijmax}}{n_{i1max}} \quad (\text{für } j = 2,3,\ldots z) \tag{27}$$

$$\dot{n}_{ijmax} = g_j \cdot \dot{n}_{i1max} \tag{28}$$

$$\dot{n}_{ijmax} = g_j \cdot a \tag{29}$$

Die maximalen Einzelnutzwerte der Kriterien sind jeweils das Produkt aus Gewichtsfaktor g_j mal einer Konstanten a, dem maximalen Einzelnutzwert des am höchsten gewichteten Kriteriums. Also lassen sich die Gewichtsfaktoren als Maßstabsfaktoren der den einzelnen Kriterien zum Zweck der Nutzenmessung zugeordneten Skalen interpretieren [48, 55, 69].

Schematisch ist dieser Zusammenhang in Abb. 52 dargestellt, wobei der Meßvorgang dadurch angedeutet ist, daß für jedes Kriterium einer Skala, auf der die Zielerträge Δk_{ij} im Bereich der Nutzenunabhängigkeit aufgetragen sind, eine Meßskala zugeordnet ist. Die Meßskala reicht jeweils von Null bis zu dem von der Gewichtung abhängigen maximalen Einzelnutzen des jeweiligen Kriteriums.

Unter Verwendung der Gewichtsfaktoren g_j kann zur Vereinfachung der Nutzenmessung allen Kriterien $\dot{K}_j$ eine Nutzenskala

$$e_{ij} = f(\Delta k_{ij}) \tag{22}$$

mit einer einheitlichen Länge a zugeordnet werden (vgl. Abb. 52). Es gilt dann:

$$\dot{n}_{ij} = g_j \cdot e_{ij} \tag{21}$$

Die Festlegung von a ist willkürlich, da es zur Entscheidungsfindung nicht auf die absoluten Nutzwerte sondern nur auf deren Relation zueinander ankommt.

4.2.4.3 Messung über Funktionen

Die in Abb. 52 angedeuteten Meßskalen sind Verhältnisskalen, da die numerischen Differenzen Nutzenunterschiede direkt wiedergeben und der Nullpunkt eindeutig festgelegt ist (vgl. Kapitel 4.2.4.2). Die Einteilung der Skalen ist zunächst bewußt offen gelassen worden.

Bei den Zielerträgen Δk_{ij} kann man davon ausgehen, daß sie im gesamten Bereich von k_{iju} bis k_{ijo} mit konstanten Wertdifferenzen ansteigen. Dies ist für Kriterien, denen kontinuierliche numerische Zielerträge zugeordnet werden können, trivial und bedarf keiner näheren Erläuterung. Bei Kriterien mit diskreten qualitativen Zielerträgen (z.B. bei Kriterien zur ästhetischen Bewertung) teilt man die Zielertragsskala in u - 1 Teile, wenn u die Anzahl der möglichen Urteilsreaktionen ist.

Die Einteilung der Meßskalen zur Bestimmung der Nutzen (Nutzenmessung) hängt von den Präferenzen des Bewertenden ab. Die Zunahme der Zielerträge k_{ij} über die geforderten Mindestzielerträge k_{iju} hinaus kann bei den einzelnen Kriterien $\dot{K}_j$ für den Bewertenden mit einem unterschiedlichen Nutzenzuwachs verbunden sein. Folgende grundsätzliche Reaktionen sind möglich:

a) Mit steigenden Zielerträgen nimmt der Nutzen für den Bewertenden über den gesamten Bereich linear zu (vgl. Abb. 53).

b) Der lineare Zusammenhang zwischen Zielertrag und Nutzen muß nicht unbedingt gegeben sein. Es läßt sich durchaus denken, daß zunehmende Zielerträge beim Überschreiten von k_{iju} zunächst sehr hoch eingeschätzt werden, die Einschätzung dann jedoch immer mehr abnimmt (vgl. Abb. 53). Eine solche Bewertung ist z.B. beim Schallschutz denkbar, bei dem ein steigendes Schallschutzmaß im Hinblick auf den Wohnkomfort in den unteren Bereichen sehr hoch bewertet wird, da dadurch ein Schutz vor dem allgemeinen Geräuschpegel gewährleistet ist. Der Schutz vor seltener auftretenden Spitzenwerten wird dagegen wesentlich niedriger bewertet.

c) Die Einschätzung der Zielerträge kann zunächst auch erst geringer sein, um dann mit zunehmenden Zielerträgen anzusteigen (vgl. Abb. 53).

Neben diesen angeführten Zusammenhängen zwischen Zielertrag und Nutzen sind noch eine Vielzahl von Verläufen denkbar [96].

Zur marktorientierten Bewertung von Produkten aus alternativen Werkstoffen muß ein Unternehmen durch Marktforschung die folgenden Daten für den betrachteten Markt ermitteln:

a) repräsentative Gewichtsfaktoren g_j für die ermittelten Tradeoff-Kriterien $\dot{K}_j$;

b) repräsentative Bewertungsfunktionen $e_{ij} = f(\Delta k_{ij})$.

Jeder Alternative A_i kann dann der zur Entscheidungsfindung benötigte Nutzwert $\dot{N}_i$ (vgl. Gl. (18) bis (20)) zugeordnet werden. Mit Gl. (13a) und (21) gilt:

$$\dot{N}_i = \sum_{j=1}^{z} g_j \cdot e_{ij} \qquad (30)$$

4.2.4.4 Vorteile des vorgeschlagenen Bewertungsverfahrens

Das beschriebene Verfahren der Bewertung von Alternativen mit Hilfe von Nutzwerten bietet zwei wesentliche Vorteile:

a) Da die Präferenzstruktur des Marktes vollkommen unabhängig von konkreten Alternativen bestimmt wird, indem der potentielle Abnehmer nicht nach der Bewertung konkreter Produkte, sondern nach seiner Einschätzung der Produktfunktionen zueinander befragt wird, können beliebig viele Alternativen an der einmal ermittelten Präferenzstruktur bewertet werden. Zum Zeitpunkt der Marktanalyse muß die Zielertragsmatrix nicht vollständig bestimmt sein. Sich später anbietende Alternativen können noch ohne weiteres im Auswahlprozeß Berücksichtigung finden.

b) Bei der direkten Bewertung von Produktalternativen werden Konstruktionen aus Werkstoffen, die für die betrachtete Anwendung neu sind oder sich gerade durchzusetzen beginnen, oft schlechter beurteilt, als es ihnen aufgrund ihrer Eigenschaften zusteht. Diese schlechte Beurteilung kann auf folgenden Gründen basieren:

- mangelndes Vertrauen und Mißtrauen gegenüber Neuerungen

- unzureichende Informationen über den neuen Werkstoff

- Bestrebungen (bewußt oder unbewußt), aus Bequemlichkeit weiter mit den vertrauten Werkstoffen zu arbeiten

- Vorurteile, die auf längst behobenen Mängeln beruhen, die bei der Markteinführung des neuen Werkstoffes aufgetreten waren. (Für die erfolgreiche und reibungslose Einführung eines neuen Werkstoffes ist es wesentlich, daß er von Beginn an in seinen wichtigsten Eigenschaften weitgehend ausgereift ist.)

Die sachlich nicht begründete Schlechterbewertung von Produkten aus neuen Werkstoffen wird durch die Anwendung des beschriebenen Bewertungsverfahrens vermieden.

4.2.4.5 Messung über ein Meßmodell

Durch die Ermittlung von Bewertungsfunktionen ließe sich anscheinend die genaueste Beurteilung der Alternativen erreichen. Man muß sich jedoch fragen, ob sich die Bewertungsfunktionen mit einem vertretbaren Aufwand in der Marktforschung ermitteln lassen. Auch ist die vom potentiellen Abnehmer bei der Marktbefragung verlangte Urteilsreaktion sehr komplex, so daß dadurch eine große Unsicherheits- und Ungenauigkeitskomponente in die Bewertung eingeht.

Im folgenden wird nun von der Annahme ausgegangen, daß der Zusammenhang zwischen Zielertrag und Nutzwert bei allen Trade-off-Kriterien linear ist (vgl. Abb. 53). Dadurch kann die Bewertung der Zielerträge zur Nutzenbestimmung sehr einfach vorgenommen werden, indem man ein Meßmodell aufstellt, das auf der für alle Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ gleich langen Meßskala $e_{ij} = f(\Delta k_{ij})$ beruht (vgl. Kapitel 4.2.4.2.2). In Abb. 54 ist das Meßmodell zur Bewertung der Alternativen für nichttragende Außenwände (vgl. Abb. 49) dargestellt. Verbindet man die Zielerträge einer Alternative miteinander, so stellt der Linienzug eine Art Wert- oder Qualitätsprofil der Alternative dar.

Mit der Annahme eines linearen Zusammenhanges zwischen Zielertrag und Nutzwert reduziert sich der Aufwand für die Marktforschung erheblich. Es müssen zur Bewertung der Alternativen nur noch die Gewichtsfaktoren g_j der Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ am Markt ermittelt werden. Durch die in Kapitel 4.2.4.2.1 dargestellten Methoden zur Bestimmung der Gewichtsfaktoren werden den Befragten Hilfen gegeben, mit denen sie ihre Reaktionen systematisch einordnen können. Man hat somit in gewissen Grenzen die Gewähr, daß die ermittelten Gewichtsfaktoren nicht auf irgendwelchen unüberlegten Urteilsreaktionen basieren. Mit den aus dem Meßmodell ermittelten Werten e_{ij} und den Gewichtsfaktoren g_j kann der Nutzwert $\dot{N}_i$ der Alternativen A_i mit Gl. (30) ermittelt werden:

$$\dot{N}_i = \sum_{j=1}^{z} g_j \cdot e_{ij} \qquad (30)$$

4.2.4.6 Berücksichtigung der Unsicherheit

Die bisher gemachten Ausführungen zur Bestimmung des Nutzwertes der Alternativen enthalten zwei vereinfachende Annahmen. Es wurde vorausgesetzt, daß sich

a) eindeutige Werte e_{ij} für jede Alternative A_i bestimmen lassen

b) eindeutige Gewichtsfaktoren g_j für jedes Trade-off-Kriterium $\dot{K}_j$ bestimmen lassen.

In Wirklichkeit muß man jedoch davon ausgehen, daß sich am Markt keine eindeutigen Nutzwerte ermitteln lassen, d.h. für den Unternehmer sind die Nutzwerte mit Unsicherheit behaftet. Bei der Annahme von deterministischen Werten wird lediglich ein einziger Wert $\dot{N}_i$ für eine Alternative A_i aus einer Menge möglicher Werte bestimmt. Berücksichtigt man jedoch die Unsicherheitssituation, so muß man im Grunde zur Entscheidungsfindung nicht von einem Nutzwert für jede Alternative, sondern von einer Nutzwertverteilung $h(\dot{N}_i)$ ausgehen, um das Entscheidungsrisiko wirklich abschätzen zu können. Innerhalb eines Intervalls existieren für jede Alternative eine Anzahl von Nutzwerten, die mit einer mehr oder weniger großen Wahrscheinlichkeit behaftet sind. In Abb. 55 sind als Beispiel die Nutzenverteilungen von zwei Alternativen A_1 und A_2 dargestellt, wobei auf der Abszisse die möglichen Nutzwerte $\dot{N}_i$ der Alternativen A_i und auf der Ordinate die Wahrscheinlichkeit für ihr jeweiliges Eintreten aufgetragen sind.

Bei der Verwendung von deterministischen Werten sind diese nur als wahrscheinlichste der wirklich möglichen Werte anzusehen. Sie entsprechen damit den aus statistischer Sicht mittleren Nutzwerten oder auch Erwartungswerten $\dot{N}_{im}$ der Verteilung aller möglichen Nutzwerte $\dot{N}_i$ [97]. Geht man zur Entscheidungsfindung in der in Abb. 55 dargestellten Situation von den Mittelwerten $\dot{N}_{1m}$ und $\dot{N}_{2m}$ aus, so ist A_2 die bessere Alternative, da $\dot{N}_{2m} > \dot{N}_{1m}$ ist. Beachtet man darüber hinaus auch die Verteilung der Nutzwerte, so erkennt man, daß es auch Gründe gibt, sich für die Alternative A_1 zu entscheiden. Sie hat im ungünstigsten Bewertungsfall einen höheren Nutzwert als A_2. In Abhängigkeit von der Risikobereitschaft des Entscheidungsträgers sind bei Berücksichtigung der Ungewißheit demnach durchaus andere Entscheidungen möglich, als wenn man von deterministischen Werten ausgeht.

Geht man von dem in Kapitel 4.2.4.5 dargestellten Meßmodell zur Bestimmung der Werte e_{ij} aus, scheint es zweckmäßig, die Unsicherheit nur bei den Gewichtsfaktoren g_j zu berücksichtigen. Dies stellt zwar eine Vereinfachung dar, jedoch ist in der Praxis eine vollständige Erfassung des Unsicherheitsproblems wegen des erforderlichen Informationsaufwandes kaum möglich [48].

Die quantitative Abbildung der Unsicherheitslage ergibt sich aus der Verteilung der am Markt ermittelten Gewichtsfaktoren g_j. Es wird sich dabei für die einzelnen Gewichtsfaktoren keine stetige Verteilung im jeweils relevanten Bereich ergeben, sondern man wird diskrete Häufigkeitsverteilungen erhalten. Abb. 56 stellt dies beispielhaft für den Gewichtsfaktor g_1 bezüglich des Kriteriums $\dot{K}_1$ dar. Es gilt dabei als Voraussetzung, daß jedem Kriterium nur die Gewichte 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0 zugeordnet werden dürfen. Auf der Ordinate sind die ermittelten relativen Häufigkeiten des Gewichtsfaktors g_1 aufgetragen:

$$h_{g_1=a} = \frac{\nu_{g_1=a}}{\sum_{a=0,1}^{a=1,0} \nu_{g_1=a}} \qquad (a=0,1;\ 0,2;\ 0,3;\ \ldots\ 1,0)$$

$\nu_{g_1=a}$: Anzahl der Werte $g_1=a$

Abb. 57 zeigt die kumulierte Verteilung der Werte aus Abb. 56.

Die ermittelten relativen Häufigkeiten h drücken aus, mit welcher Häufigkeit den Kriterien $\dot{K}_j$ ein bestimmter Gewichtsfaktor g_j zugeordnet wird, wenn die Alternativen A_i am Markt angeboten werden.

Multipliziert man die Verteilungen der Gewichtsfaktoren g_j mit den ermittelten Werten e_{ij}, erhält man für jede Alternative bezüglich jedes Kriteriums $\dot{K}_j$ (j=1...z) eine Verteilung der Einzelnutzen $\dot{n}_{ij}$. Zur Bestimmung der Gesamtwerteverteilung besteht die Aufgabe darin, für jede Alternative die z Verteilungen der Einzelnutzen zu einer Gesamtwerteverteilung zusammenzufassen. Der Entscheidungsträger kann dann aufgrund der Gestalt der Verteilungen für die Alternativen entsprechend seiner Risikobereitschaft die Auswahlentscheidung treffen.

Nach dem zentralen Grenzwertsatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung erhält man bei der Überlagerung einer genügend großen Anzahl von Ausgangsverteilungen eine Normalverteilung, ohne daß die Ausgangsverteilungen normalverteilt sein müssen [98]. Für praktische Probleme genügen z = 15 Verteilungen, um mit hinreichender Genauigkeit eine normalverteilte Gesamtverteilung annehmen zu können.

Die Gesamtwerteverteilung kommt dadurch zustande, daß alle theoretisch möglichen Kombinationen der Einzelnutzen durchgerechnet werden. Nun ergeben sich bei z = 5 Bewertungskriterien, deren zugeordnete Einzelnutzen beispielsweise jeweils sechs gleichwahrscheinliche Ausprägungen annehmen können, schon 6^5 Kombinationsmöglichkeiten. Es muß daher eine Methode gefunden werden, mit der man zur Ermittlung der Gesamtwerteverteilung die Notwendigkeit umgeht, alle theoretisch möglichen Kombinationen der Einzelnutzen durchzurechnen. Dies kann dadurch erfolgen, indem man aus der Gesamtheit A aller Kombinationsmöglichkeiten der Einzelnutzen eine Stichprobe S zieht und über diese die Häufigkeitsverteilung der Nutzwerte $\dot{N}_i$ erzeugt [99]. Es können S Nutzwerte $\dot{N}_i$ aufgrund S-mal zufällig fixierter Einzelnutzen $\dot{n}_{ij}$ berechnet werden.

Die Stichprobe $S < A$ zieht man mit Hilfe der sogenannten Monte-Carlo-Methode. Diese ist eine numerische Methode zur Lösung mathematischer Probleme mit Hilfe der Modellierung von Zufallszahlen [100]. Die nach verschiedenen Methoden erzeugten Zufallszahlen kann man aus umfangreichen Tabellenwerken entnehmen. Für das hier vorliegende Problem geht man praktisch so vor, daß man mit Hilfe unabhängiger gleichverteilter Zufallszahlen Z im Bereich $0 \leq Z < 1{,}0$ zufällige Stichproben aus den Verteilungen der Einzelnutzen zieht und diese nach der Vorschrift zur Bestimmung des Gesamtnutzens nach Gl. (10) additiv zusammensetzt.

Zur Verdeutlichung des Vorgehens diene folgendes Beispiel: In Abb. 58 seien zwei der z = 5 Verteilungen der Einzelnutzen einer Alternative A_1 dargestellt. Unter Verwendung von Zufallszahlen [100] lassen sich die Gesamtnutzen, wie in Tab. 10 dargestellt, ableiten. Die Anzahl der simulierten Zufallsereignisse entscheidet naturgemäß über die Genauigkeit der erzeugten Verteilung der Gesamtnutzen. Zur Bestimmung der Genauigkeit in Abhängigkeit von der Stichprobengröße vergleiche man Sachs [99] und Kreyszig [101]. Hier sei die Stichprobengröße auf S = 25 beschränkt.

Tab. 10: Ermittlung der Gesamtnutzenverteilung einer Alternative A_1 (vgl. Abb. 58) mit Hilfe der Monte-Carlo-Methode

Zufallszahlen Z	Einzelnutzen $\dot{n}_{11}$	.....	Zufallszahlen Z	Einzelnutzen $\dot{n}_{15}$	Gesamtnutzen $N_1 = \sum_{j=1}^{5} \dot{n}_{1j}$
0,5	8		0,7	7	15+ ...
0,7	9		0,6	6	15+ ...
0,1	5		0,1	3	8+ ...
0,4	8		0,2	4	12+ ...
0,5	8		0,2	4	12+ ...
0,3	7		0,2	4	11+ ...
0,3	7		0,5	6	13+ ...
0,8	10		0,9	8	18+ ...
0,1	5		0,1	3	8+ ...
0,3	7		0,7	7	14+ ...
0,5	8		0,8	7	15+ ...
0,2	6		0,5	6	12+ ...
0,9	10		0,9	8	18+ ...
0,7	9		0,9	8	17+ ...
0,6	9		0,8	7	16+ ...
0,8	10		0,0	1	11+ ...
0,5	8		0,8	7	15+ ...
0,1	5		0,1	3	8+ ...
0,0	4		0,3	4	8+ ...
0,3	7		0,1	3	10+ ...
0,2	6		0,9	8	14+ ...
0,0	4		0,6	6	10+ ...
0,3	7		0,4	5	12+....
0,3	7		0,2	4	11+ ...
0,5	8		0,7	7	15+ ...

Zur Entscheidungsfindung bei Berücksichtigung der Unsicherheit mit Hilfe von Verteilungen des Gesamtnutzens der Alternativen hat Frangen [102] folgenden Zusammenhang ermittelt:

$$\dot{N}_i^{\star} = \dot{N}_{im} + r \sum_{h(\dot{N}_i)} \left\{ 2\,|\Delta\dot{N}_i| - R\,\left(C - \frac{|\Delta\dot{N}_i|}{\Delta\dot{N}_i}\right) \cdot \ln\,(1 + |\Delta\dot{N}_i|) \right\} h(\dot{N}_i) \tag{31}$$

Es bedeuten:

$\dot{N}_i^{\star}$ - transformierter Gesamtnutzen der Alternative A_i zur Entscheidungsfindung bei Berücksichtigung der Unsicherheit;

$\dot{N}_{im}$ - mathematische Erwartung bzw. Mittelwert der Verteilung der Gesamtnutzen der Alternative A_i;

$\Delta\dot{N}_i = \dot{N}_i - \dot{N}_{im}$ - Differenz zwischen den in der Verteilung auftretenden Gesamtnutzen $\dot{N}_i$ und dem Mittelwert $\dot{N}_{im}$ der Verteilung der Alternative A_i;

$h(\dot{N}_i)$ - Häufigkeit, mit der in der Verteilung die Gesamtnutzen $\dot{N}_i$ der Alternative A_i auftreten;

$\Sigma h(\dot{N}_i) = 1$

r - Risikofaktor, der die Einstellung des Entscheidungsträgers gegenüber der Stärke oder dem Umfang der Streuung der Gesamtnutzen $\dot{N}_i$ der Alternative A_i im Verhältnis zum Mittelwert $\dot{N}_{im}$ charakterisiert;

$-1/2 < r < +1/2$

$r > 0$: Risikofreude
$r = 0$: Risikoneutralität
$r < 0$: Risikoscheu

R - Risikofaktor, der die Einstellung des Entscheidungsträgers gegenüber der Form der Verteilung der Gesamtnutzen $\dot{N}_i$ der Alternative A_i d.h. gegenüber der effektiven Abweichung der auftretenden Gesamtnutzen $\dot{N}_i$ vom Mittelwert $\dot{N}_{im}$ charakterisiert;

$0 < R < 1/2$

$R_{Grenz} = 1/2$

C - Funktionskonstante

$$C = \frac{R_{Grenz}}{R}$$

Mit Gl. (31) ist es möglich, bei Berücksichtigung der Unsicherheit in Abhängigkeit von der Risikobereitschaft des Entscheidungsträgers Entscheidungen zu treffen. Es gilt (vgl. Gl. (7) bis (9)):

$A_1 \succ A_2$, wenn $\dot{N}_1^{\star} > \dot{N}_2^{\star}$

Tab. 11: Bewertung der Alternativen für nichttragende Außenwände aus Abb. 49 (Meßmodell siehe Abb. 54)

Alternative A_i	Trade-off-Kriterium $\dot{K}_j$										Gesamtnutzen $\dot{N}_i = \sum_{j=1}^{5} g_j \cdot e_{ij}$
	$\dot{K}_1$		$\dot{K}_2$		$\dot{K}_3$		$\dot{K}_4$		$\dot{K}_5$		
	Gesamteinsatzkosten		Auskühlverhalten		Wärmedurchlaßwiderstand		mittl. Schalldämmaß		Aussehen Gestaltung		
	e_{i1}	$g_1 \cdot e_{i1}$	e_{i2}	$g_2 \cdot e_{i2}$	e_{i3}	$g_3 \cdot e_{i3}$	e_{i4}	$g_4 \cdot e_{i4}$	e_{i5}	$g_5 \cdot e_{i5}$	
A_1	6,0	6,0	5,0	3,0	2,2	1,8	10	8,0	5,0	2,5	21,3
A_2	8,3	8,3	3,0	1,8	2,0	1,6	8,5	6,8	5,0	2,5	21,0
A_3	8,6	8,6	6,0	3,6	5,0	4,0	9,5	7,6	5,0	2,5	$\boxed{26,0}$
A_4	6,8	6,8	0,3	0,18	9,1	7,3	2,0	1,6	10	5,0	20,9
A_5	2,8	2,8	5,0	3,0	9,6	7,7	4,5	3,6	10	5,0	22,1
A_6	1,0	1,0	1,0	0,6	9,2	7,3	2,5	2,0	10	5,0	15,9

$A_1 \sim A_2$, wenn $\dot{N}_1^* = \dot{N}_2^*$

$A_1 \precsim A_2$, wenn $\dot{N}_1^* \leq \dot{N}_2^*$

4.2.4.7 Bewertung der Alternativen für nichttragende Außenwände

Zur Bewertung der in Abb. 49 aufgeführten Alternativen für nichttragende Außenwände sei von den in Kapitel 4.2.4.5 beschriebenen Voraussetzungen ausgegangen. Das entsprechende Meßmodell zeigt Abb. 54.

Da zur Bestimmung der Gewichtsfaktoren keine umfassende Marktbefragung durchgeführt werden konnte, reichte das Informationsmaterial nicht aus, um repräsentative Häufigkeitsverteilungen herleiten zu können. Deshalb mußte die Bewertung mit eindeutigen Gewichtsfaktoren erfolgen, und es kommt dem Ergebnis der Bewertung auch kein repräsentativer Charakter zu, sondern es dient zur Abrundung des Beispiels. Auf der Basis von Einzelbefragungen und der im Schrifttum zu erkennenden Tendenzen wurden folgende Gewichtsfaktoren ermittelt:

$\dot{K}_1$	Gesamteinsatzkosten	: $g_1 = 1{,}0$
$\dot{K}_2$	Auskühlverhalten	: $g_2 = 0{,}6$
$\dot{K}_3$	Wärmedurchlaßwiderstand	: $g_3 = 0{,}8$
$\dot{K}_4$	mittleres Schalldämmaß	: $g_4 = 0{,}8$
$\dot{K}_5$	Aussehen, Gestaltung	: $g_5 = 0{,}5$

Das Ergebnis der Bewertung zeigt Tab. 11. Den höchsten Gesamtnutzen hat die Alternative A_3 aus Styroporbeton, die daher ein sicheres Marktpotential eröffnet. Bei geringen Gesamteinsatzkosten vereinigt sie die Vorteile der mineralischen Baustoffe (hohes Schallschutzmaß, gutes Wärmespeichervermögen) mit denen der Kunststoffe (hohe Wärmedämmung).

Die an den Anforderungen der Abnehmer orientierte Werkstoffauswahl zur Herstellung nichttragender Außenwände, die zur Ausfachung von Skelettbausystemen oder Tafelbausystemen in Querschottenbauweise dienen, ist damit durchgeführt. Die Grundlage zur Erfüllung der Forderung des Marketing, daß Produkte Problemlösungen von Kundenproblemen sein sollten, um eine Führung des Unternehmens vom Markt her zu gewährleisten (vgl. Kapitel 3.3.1), ist geschaffen.

Wie in Kapitel 3.3.2 beschrieben, muß in einem zweiten Schritt durch eine differenzierte Analyse der Unternehmenssituation untersucht werden, ob es mit dem gegebenen Erfahrungspotential des Unternehmens möglich ist, die ausgewählte Alternative zu realisieren. So wurden z.B. die Fertigungsprobleme bisher nur überschlägig erfaßt, indem für alle Alternativen auf Erfahrungswerten basierende gleiche durchschnittliche Fertigungskosten angenommen wurden.

5. Zusammenfassung

Einleitend wurde ein Überblick über wichtige Entwicklungen auf dem Gebiet der Werkstoffe gegeben, der aufgrund der zunehmenden Werkstoffkonkurrenz die Notwendigkeit einer systematischen

Behandlung des Problems der Werkstoffauswahl deutlich machte. Da das Problem der Werkstoffauswahl im Produktentstehungsprozeß auftritt, wurde dieser einer eingehenderen Betrachtung unterzogen. Diese Analyse berücksichtigte in den einzelnen Phasen besonders die werkstoffspezifischen Fragen.

Die Beschleunigung der allgemeinen Entwicklung und die zunehmende Komplexität der unternehmerischen Umwelt verlangen in steigendem Maße eine Planung der Vorgänge im Unternehmen, um eine wirkungsvolle Zukunftssicherung zu betreiben. Die Struktur des Produktentstehungsprozesses wurde daher analysiert, um ihn der Planung und Kontrolle zugänglich zu machen. Es wurde deutlich, daß im Rahmen der Planung eine Führung des Unternehmens vom Markt her von wesentlicher Bedeutung ist. Eine umfassende Marktprognose in quantitativer und qualitativer Hinsicht sollte die Basis des Produktentstehungsprozesses bilden. Von der Formulierung alternativer Konzepte bis zur endgültigen Konkretisierung der Produkte bilden die Anforderungen der Abnehmer das Fundament der Arbeiten.

An einem Beispiel aus dem Bauwesen, das im Wohnungsbau aufgrund der wirtschaftlichen, technischen und sozialen Entwicklungen für bisher branchenfremde Unternehmen gute Möglichkeiten bietet, wurde der Ablauf des Produktentstehungsprozesses verdeutlicht. Es zeigte sich, daß die Werkstoffauswahl von zwei Ebenen - der Marktebene und der Unternehmensebene - beeinflußt wird, zwischen denen ein Kompromiß zu schaffen ist.

Im folgenden wurde der Teilaspekt einer zunächst abnehmerorientierten Werkstoffauswahl, die im Sinne des Marketing (d.h. Führung des Unternehmens vom Markt her) unbedingte Voraussetzung zur endgültigen Werkstoffauswahlentscheidung ist, behandelt und am Beispiel des Produktes "nichttragende Außenwand" erläutert.

Durch die Vielzahl der Anforderungen der Abnehmer an ein Produkt wird die Werkstoffauswahl zu einem multidimensionalen Entscheidungsproblem, dessen Lösung ein systematisches Vorgehen erfordert, damit rationale Entscheidungen gewährleistet sind. Um ein sicheres Marktpotential zu schaffen, ist die Alternative zu bestimmen, die für den Abnehmer den größten Wert bzw. Nutzen hat. Dazu wird das multidimensionale Entscheidungsproblem, das keine simultane Bewertung der Eigenschaften (Zielerträge) der Alternativen zuläßt, über eine Reihe von Einzelbewertungen gelöst. Die Alternativen werden sukzessive an den Bewertungskriterien bewertet, um in einem zweiten Schritt aus den ermittelten Teilurteilen (Einzelnutzen) ein Gesamturteil (Gesamtnutzen) zu bilden.

Aus der Anforderungsstruktur des Abnehmers als dessen Zielsystem beim Kauf eines Produktes sind über die Ermittlung der geforderten Produktfunktionen die Bewertungskriterien für die Produkte aus den alternativen Werkstoffen abzuleiten. Die Bewertung der Wirtschaftlichkeit der Alternativen sollte an den Gesamteinsatzkosten, d.h. den Kosten, die für den Abnehmer über die gesamte Lebensdauer des Produktes entstehen, vorgenommen werden.

Zur Ermittlung der Einzelnutzen ist es erforderlich, daß die Bewertungskriterien nutzenunabhängig voneinander sind. Es zeigte sich, daß die Annahme einer bedingten Nutzenunabhängigkeit für alle Kriterien durchaus zulässig ist. Der Bereich der bedingten Nutzenunabhängigkeit wird über Mindest- und Höchstzielerträge festgelegt, die sich u.a. aus den Produktbeanspruchungen über

Berechnungsformeln und Vorschriften ergeben. Eine Differenzierung der Kriterien im Hinblick auf ihren Beitrag zum Gesamtnutzen der Alternativen erwies sich als zweckmäßig, da nur hinsichtlich der sogenannten Trade-off-Kriterien eine Verbesserung der Zielerträge über die geforderten Mindestzielerträge hinaus eine höhere Bewertung durch den Abnehmer zur Folge hat.

Für die nichttragenden Außenwände wurden die Ableitung der Bewertungskriterien, die Bestimmung der Mindest- und Höchstzielerträge und die Differenzierung der Kriterien beispielhaft dargestellt.

Beim Entwurf der Alternativen sind sowohl vollständige Informationen über die Werkstoffe als auch Methoden zum gezielten Werkstoffeinsatz von entscheidender Bedeutung. Für Produkte, die mehrere Funktionen zu erfüllen haben, kann der funktionsgerichtete Werkstoffeinsatz über Werkstoff-Funktions-Matrizen erleichtert werden.

Zur Bewertung und Auswahl der Alternativen ist es erforderlich, die für den betrachteten Markt relevante Präferenzstruktur durch Marktforschung zu ermitteln. Die methodische Behandlung des Bewertungsproblems ergab, daß zur Entscheidungsfindung Nutzwerte nur hinsichtlich der Trade-off-Kriterien bestimmt werden müssen, wodurch der Aufwand in der Marktforschung erheblich vermindert wird.

Durch die Aufspaltung des Bewertungsvorganges in eine Gewichtsbestimmung für die Trade-off-Kriterien und in die Bewertung der Zielerträge kann dessen Komplexität reduziert werden. Nimmt man vereinfachend einen linearen Zusammenhang zwischen Zielertrag und Nutzen an, müssen am Markt nur noch die Gewichtsfaktoren ermittelt werden. Ein Verfahren zu deren Bestimmung wurde aufgezeigt, bei dem durch die systematische Einordnung der Urteilsreaktionen die Gefahr unkontrollierter Urteilsverzerrungen vermieden wird, wie sie bei einer mehr oder weniger willkürlichen direkten Auswahl der Werte auftreten kann. Damit wird es bei einem vertretbaren Aufwand in der Marktforschung möglich, die Entscheidungsfindung bei der Werkstoffauswahl auf eine rationale Basis zu stellen, die ihren Ausgangspunkt in den Anforderungen der Abnehmer hat. Es wurde vorgeschlagen, die Unsicherheit, die bei der Bestimmung der Präferenzstruktur am Markt auftritt, über die ermittelten Verteilungen der Gewichtsfaktoren zu berücksichtigen, indem man zur Entscheidungsfindung Gesamtnutzenverteilungen der einzelnen Alternativen heranzieht. In Abhängigkeit von der Risikobereitschaft des Entscheidungsträgers kann dann die Auswahlentscheidung getroffen werden.

Die Bewertung der Alternativen für nichttragende Außenwände, die im Rahmen dieser Arbeit mit deterministischen Werten durchgeführt werden mußte, zeigt eine klare Überlegenheit der Alternative aus Styroporbeton. Sie vereinigt die Vorteile der mineralischen Baustoffe mit denen der Kunststoffe.

Literaturverzeichnis

[1] Taprogge, R., Faserverstärkte Verbundwerkstoffe, Entwicklungs- und Einsatzmöglichkeiten. Mitteilungen des Institutes zur Erforschung technologischer Entwicklungslinien (ite), Hamburg, Nr. 2, 1971.

[2] Kutzelnigg, A., Terminologie der Warenkategorien. Berlin, Köln, Frankfurt, Beut-Vertrieb GmbH 1965, S. 73.

[3] Traebert, W.-E., Verbundwerkstoffe, Versuch einer neuartigen Systematik. Berlin, Köln, Frankfurt, Beuth-Vertrieb GmbH 1967, S. 1/11.

[4] Richman, M.H., Design and synthesis of materials with specific properties. Metals and Materials 3 (1969) Nr. 6, S. 217/224.

[5] Clauser, H.R., Modern materials make structure key to progress. Materials Engineering 36 (1968) Nov., S. 38/42.

[6] Taprogge, R., Neue Werkstoffe und neue Konstruktionen in Wechselwirkung. Techniken der Zukunft 1 (1971) Nr. 1, S. 101/103.

[7] Gregory, S.A., Design of Materials. In: The Design Method. Hrsg. S.A. Gregory. London: Butterworths 1966, S. 235/239.

[8] Duke, W.M., Materials Systems: A Character Analysis. Metal Progress 97 (1970) Nr. 1, S. 80/85.

[9] Biederbick, K., Kunststoffe. Würzburg, Vogel-Verlag 1965, S. 8.

[10] Rosato, D.V. u.a., Markets for Plastics. New York, London, Van Nostrand Reinhold Company 1969, S. 39.

[11] Dahlhoff, W., G. Menges und R. Taprogge, Entwicklungsrichtungen der Kunststofftechnik. VDI-Z 112 (1970) Nr. 8, S. 487/493.

[12] Houwink, R., Das Zeitalter der Chemiewerkstoffe. Kunststoffe 56 (1966) Nr. 8, S. 597/598.

[13] UN, Aspects of Competition Between Steel and Other Materials. New York, United Nations 1966, S. 104 ff.

[14] Kölbel, H. und J. Schulze, Der Absatz in der Chemischen Industrie. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1970, S. 326.

[15] Kalla, U., Entwicklungsrichtungen der Stahlerzeugung. Stahl und Eisen 90 (1970), S. 1146/1153.

[16] Kottmann, A., Die Petrochemie und ihre Rohstoffversorgung. Chemische Industrie 20 (1968) Nr. 9, S. 609/613.

[17] Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 1971. Hrsg. Statistisches Bundesamt. Stuttgart, Mainz, W. Kohlhammer GmbH 1971.

[18] Westbrook, J.H., Materials for Tomorrow. In: Science and Technology in the World of the Future. Hrsg. A.B. Bronwell. London, Wiley Interscience 1970, S. 329/365.

[19] Schwabe, G. und J. Purgand, Zur Prognose der optimalen Anlagengröße. Chemische Technik 20 (1968) Nr. 8, S. 496/498.

[20] Heynert, G. und E. Wilms, Stand des Hochofenverfahrens und seine Entwicklungsaussichten. Stahl und Eisen 90 (1970), S. 1137/1146.

[21] Kölbel, H. und J. Schulze, Die Wirtschaftlichkeit der Werkstoffauswahl und des Korrosionsschutzes in der chemischen Industrie. Werkstoffe und Korrosion 15 (1964) Nr. 2, S. 132/150.

[22] Herold, W. und G. Jehmlich, Substitutionsproblematik Metall-Plast im Prognosezeitraum. Plaste und Kautschuk 15 (1968) Nr. 10, S. 705/710.

[23] Davies, A.L., Selection of Materials. In: The Design Method. Hrsg. S.A. Gregory. London: Butterworths 1966, S. 211/217.

[24] Beck, H.V., Preliminary Research Into Electronics Design. In: The Design Method. Hrsg. S.A. Gregory, London: Butterworths 1966, S. 317/322.

[25] McCrory, R.J., The Design - A Scientific Approach to Valid Design. ASME Paper Nr. 63-MD-4, S. 2.

[26] Asimow, M., Introduction to Design. Englewood Cliffs, Prentice Hall, Inc. 1962, S. 1 f.
[27] Eder, W.E., Definitions and Methodologies. In: The Design Method, Hrsg. S.A. Gregory, London: Butterworths 1966, S. 19/31.
[28] Brankamp, K., Systematische Planung und Entwicklung neuer Industrieprodukte. Aachen, Habilitationsschrift 1970.
[29] Häusler, J., Planung als Zukunftsgestaltung. Wiesbaden, Th. Gabler-Verlag 1970, S. 14.
[30] Ropohl, G., Systemtechnik als umfassende Anwendung kybernetischen Denkens in der Technik. Werkstattstechnik-Zeitschrift für industrielle Fertigung 60 (1970) Nr. 8, S. 452/456.
[31] Trucks, E., Anwendung der Systemtechnik in der Konstruktion. In: VDI-Bericht 171. Düsseldorf, VDI-Verlag 1971.
[32] Kesselring, F., Systematik in der Konstruktion. In: VDI-Bericht Nr. 171. Düsseldorf, VDI-Verlag 1971.
[33] McCrory, R.J., method - the design method. Mechanical Engineering 85 (1963) Mai, S. 30/31.
[34] Hammel, W., System des Marketing - Dargestellt am Beispiel der Konsumgüterindustrie. Freiburg, Haufe-Verlag 1964, S. 173.
[35] Holloway, R.J. und R.S. Hancock, Marketing in a Changing Environment. New York, London, Sidney, John Wiley & Sons Inc. 1968, S. 21.
[36] IFO, Mitteilung des Ifo-Institutes für Wirtschaftsforschung. München 1971.
[37] Koepsel, K., Kunststoffe im Bau: Revolution oder Illusion. VDI-Nachrichten 25 (1971) Nr. 5, S. 2.
[38] Bunk, H., Fortentwicklung des Baumarktes. Festschrift zum 50jährigen Jubiläum des Rationalisierungskuratoriums der deutschen Wirtschaft (RKW), S. 289/296.
[39] Mansson, K., Bedarfsorientierte Bauindustrie - Ziele. baupraxis 23 (1971) Nr. 4, S. 66/68.
[40] Schmid, T. und C. Testa, Bauen mit Systemen. Zürich, Artemis Verlag 1969, S. 35 ff.
[41] Meyer-Bohe, W., Vorfertigung. Teil 1: Handbuch des Bauens mit Fertigteilen. Teil 2: Atlas der Systeme. Essen, Vulkan-Verlag 1964 und 1967.
[42] Wagner, R. und K.D. Portmann, Persönliche Mitteilung des Deutschen Stahlbauverbandes, Fachgemeinschaft Elementiertes Bauen. Köln 1971.
[43] Trainer, T.M. und J.S. Glasgow, Materials Selection in the Design Method. Mechanical Engineering 87 (1965) März, S. 41/43.
[44] Wiegand, H. u.a., Kunststoffe, Metalle und mineralische Stoffe im Bauwesen. Kunststoffe im Bau Nr. 7, S. 22/28.
[45] Sharp, H.T., Production of car bodies in alternative materials (unveröffentlicht).
[46] Wiest, P., Produktivität - auch ein Werkstoffproblem. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 64 (1969) Nr. 9, S. 465/471.
[47] Knecht, A., Marktforschung für Kunststoff-Produkte im Wohnungsbau. Bern, Paul Haupt Verlag 1964.
[48] Zangemeister, C., Nutzwertanalyse in der Systemtechnik. München, Wittemannsche Buchhandlung 1970.
[49] Krelle, G., Präferenz- und Entscheidungstheorie. Tübingen, J.C.B. Mohr Verlag 1968.
[50] Gäfgen, G., Theorie der wirtschaftlichen Entscheidungen. Tübingen, J.C.B. Mohr Verlag 1968, S. 26 und 99/165.
[51] Dr. Gablers Wirtschaftslexikon. 2. Band. Hrsg. R. Sellien u. H. Sellien. Wiesbaden, Verlag Dr. Th. Gabler 1967, Sp. 462.
[52] Dathe, H.M., Moderne Projektplanung in Technik und Wissenschaft. München, Carl Hanser Verlag 1971.
[53] Chestnut, H., Prinzipien der Systemplanung. München, Carl Hanser Verlag 1970, S. 16 und S. 123.
[54] Höfler, H. und L. Kandel, Zur Entwicklung von Bewertungsverfahren. Bauen und Wohnen 24 (1969) Nr. 9, S. 371/374.

[55] Fishburn, P.C., Methods of Estimating Additive Utilities. Management Science 13 (1967) Nr. 7, S. 435/453.
[56] Weber, H.H., Bedeutung der Entscheidungstheorie für die unternehmerische Praxis. In: Aufbauseminar Systemtechnik, Band II. Berlin, TU Berlin 1969.
[57] Terry, H., Comparative Evaluation of Performance Using Multiple Criteria. Management Science 9 (1962/63), S. 431/442.
[58] Köhler, B.M., Verfahren der Bewertung. In: Arbeitsberichte zur Planungsmethodik 1. Stuttgart, Bern, Karl Krämer Verlag 1970, S. 63/94.
[59] Hall, A.D., A Methodology for Systems Engineering. Princeton, Van Nostrand Comp. 1962, S. 105 ff.
[60] Heinen, E., Das Zielsystem der Unternehmung. Wiesbaden, Th. Gabler-Verlag 1966.
[61] Zangemeister, C., Grundsätze zur Aufstellung eines Zielsystems. Industrielle Organisation 39 (1970) Nr. 7, S. 293/297.
[62] Dietze, P., Der Bewertungsprozeß und Verfahren zur Bewertung in der Stadtplanung. In: Arbeitsbericht zur Planungsmethodik 1. Stuttgart, Bern, Karl Krämer Verlag 1970, S. 139/207.
[63] Partzsch, D., Daseinsgrundfunktionen. In: Handwörterbuch der Raumforschung und Raumordnung. Hannover, Gebr. Jänecke Verlag 1970, I. Band, Sp. 424/430.
[64] IFO, Teure Wohnungen sind bald schwer zu vermieten. Handelsblatt 26 (1971) Nr. 233, S. 6.
[65] Führer, H. u.a., Konstruktive Realisierung flexibler Wohneinheiten. Forschungsauftrag des Bundesministers für Städtebau und Wohnungswesen. Bad Godesberg 1970.
[66] Elmenhorst, H., Langfristige Entwicklungstendenzen auf den Märkten für Baustoffe unter besonderer Berücksichtigung des Phänomens der Substitution. Winterthur, Verlag Hans Schellenberg 1970, S. 194 ff.
[67] Welham, R.G.L., The Economics of Plastics in Use. A Study of the Building Industry. Plastics 26 (1961) Februar, S. 52/62.
[68] MacCrimmon, K.R., Decisionmaking Among Multiple-Attribute Alternatives: A Survey and Consolidated Approach. Rand Corporation Memorandum Rm-4823-ARPA, Dezember 1968, S. 2 und 30.
[69] Fishburn, P.C., Independence in Utility Theory with Whole Product Sets. Operations Research 13 (1965), S. 28/45.
[70] Hoess, I., A Discipline for Both Obtaining and Evaluating Alternative Product Concepts. New York, American Society of Mechanical Engineering, P. No. APR 28 (1966).
[71] Sautter, L., Der Wärmeschutz bei Außenwand-Bekleidungen und Vorhangwänden aus Asbestzement. Bundesbaublatt 18 (1969) Nr. 6, S. 281/287.
[72] Fonck, K.N., Einfachfenster sind Wärmediebe. VDI-Nachrichten 25 (1971) Nr. 46, S. 19.
[73] DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau.
[74] Schreier, M., Wohnhaus mit Vollwärmeschutz. Bauzeitung 66 (1961) Nr. 10, S. 804/806.
[75] Rick, A.W., Wärmeschutz ist mehr als Wärmedämmung. Bauzeitung 66 (1961) Nr. 10, S. 802/804.
[76] Recknagel-Sprenger, Taschenbuch für Heizung und Lüftung. Hrsg. E. Sprenger, München, R. Oldenbourg Verlag 1970, S. 14 ff.
[77] Roth, P., Wärmedämmung - Wärmespeicherung. Deutsche Bauzeitschrift 15 (1967) Nr. 3, S. 422.
[78] Frank, W., Haus und Brandschutz. Wohne im eigenen Heim 11 (1971) Nr. 4, S. 9/13.
[79] DIN 4102 Widerstandsfähigkeit von Baustoffen und Bauteilen gegen Feuer und Wärme.
[80] Frick, Knöll, Neumann, Baukonstruktionslehre Teil 1. Hrsg. F. Neumann. Stuttgart, B.G. Teubner 1967, S. 227 ff.
[81] Seifert, E., Das Fenster ist die schwächste Stelle. Handelsblatt - die technische Linie 24 (1971) Nr. 49, S. 217.

[82] Gösele, K., Schallschutz. In: Schall, Wärme-Feuchtigkeit. Heft 75 der Forschungsgemeinschaft Bauen und Wohnen. Wiesbaden, Berlin, Bauverlag GmbH 1965, S. 15/126.
[83] Gösele, K., Die Luftschalldämmung von einschaligen Trennwänden und Decken. FBW-Blätter Nr. 4. baupraxis 20 (1968) Nr. 7, S. 43/47.
[84] Cremer, L. und A. v. Meier, Untersuchungen zum Schallschutz leichter Außenwände. Berichte aus der Bauforschung Nr. 56, 1968, S. 1/22.
[85] Menges, G. und R. Taprogge, Denken in Verformungen erleichtert das Dimensionieren von Kunststoffteilen. VDI-Z 112 (1970) Nr. 6, S. 341/346.
[86] Cammerer, J.S., Berechnung der Durchfeuchtungsgefahr der Wände in Räumen mit hoher Luftfeuchtigkeit. Berichte aus der Bauforschung Nr. 5, 1957, S. 1/24.
[87] Haferland, F., Das diffusionstechnische Verhalten mehrschichtiger Außenwände. Wirtschaftlich Bauen. Sonderheft Nr. 8, Wiesbaden, Berlin, Bauverlag GmbH 1967, S. 26/77.
[88] Glaser, H., Graphische Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11 (1959) Nr. 10, S. 345/349.
[89] Selwyn, R.B., Material Selection. A New Approach. Engineering Materials and Design 8 (1965) November, S. 834/836.
[90] Farradane, J., Information for Design. In: The Design Method. Hrsg. S.A. Gregory. London: Butterworths 1966, S. 97/103.
[91] Oberender, W., Results of a Feasibility Study for a National Materials Data Bank of the Federal Republic of Germany. Second International Codata Conference on Generation. Collection, Evaluation and Dissemination of Numerical Data for Science and Technology. S. Andrews, Scotland, September 1970.
[92] Weinmann, G., Das Verfahren der Wertanalyse. Methoden, Erfahrungen und Ergebnisse. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung 64 (1969) Nr. 4, S. 168/174.
[93] Fishburn, P.C., Utility Theory. Management Science 14 (1968) Nr. 5, S. 335/378.
[94] Fishburn, P.C., Independence, Trade-Offs, and Transformations in Bivariate Utility Functions. Management Science 11 (1965) Nr. 9, S. 792/801.
[95] Eckenrode, R.R., Weighting Multiple Criteria. Management Science 12 (1965) Nr. 3, S. 180/192.
[96] Koelle, H., Langfristige Planung und Nutzwertanalyse. In: Aufbauseminar Systemtechnik, Band I. Berlin, TU Berlin 1969.
[97] Frangen, J., Ansätze zur Berücksichtigung der Unsicherheitssituation bei der Auswahl von Produktalternativen. Diplomarbeit TH Aachen 1970, S. 48.
[98] Stange, K., Angewandte Statistik, Band 1. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1970, S. 239 f.
[99] Sachs, L., Statistische Auswertungsmethoden. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag 1969, S. 243/251.
[100] Sobol, I.M., Die Monte-Carlo-Methode. Berlin, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1971, S. 7.
[101] Kreyszig, E., Statistische Methoden und ihre Anwendungen, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht 1968, S. 163 ff.
[102] Frangen, J., Beitrag zur Entwicklung eines empirisch-analytischen Prognosemodells als Grundlage der Unternehmensplanung. An der TH Aachen eingereichte Dissertation 1972.

Der Einfluß der geplanten Produktionsmenge auf die Werkstoffauswahl sei im folgenden beispielhaft an Hand der Kalkulation über die Herstellung einer Lastwagenkabine aus Stahlblech bzw. glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) dargestellt.

Bei höheren Werkstoffkosten können aus GFK in einem Arbeitsgang komplexere Teile hergestellt werden als aus Stahlblech. Dies geschieht arbeitsintensiv bei geringen Werkzeugkosten. Durch die wenigen Einzelteile für eine Kabine sind die Montagekosten bei GFK niedriger als bei der Verwendung von Stahlblech.

	GFK	Stahl
Anzahl der Einzelteile für eine Kabine	39	100
Gewicht	274 lbs	290 lbs
Kosten der Einzelteile ohne Werkzeugkosten	230 $	185 $
Stahlverstärkung	45 $	/
Kosten für die Montage	22 $	50 $
Oberflächenbehandlung	60 $	51 $
Kosten pro Kabine ohne Werkzeugkosten	357 $	286 $
Werkzeugkosten zur Herstellung der Einzelteile	335.000 $	3.200.000 $
Werkzeugkosten zur Stahlverstärkung	20.000 $	/
Werkzeugkosten für die Montage	30.000 $	800.000 $
Gesamte Werkzeugkosten	385.000 $	4.000.000 $

In Abhängigkeit von der jährlichen Produktionsmenge ergeben sich bei einer Abschreibungszeit von zwei Jahren folgende Herstellkosten pro Lastwagenkabine:

Menge [Stück/a]	Werkzeugkosten [$/Stück]		Material- u. Lohnkosten [$/Stück]		Gesamtkosten [$/Stück]	
	GFK	Stahl	GFK	Stahl	GFK	Stahl
15.000	13	132	357	286	370	418
25.000	7,7	88	357	286	364,7	374
50.000	3,9	40	357	286	360,9	326
100.000	1,9	20	357	286	358,9	306
300.000	0,65	6,7	357	286	357,65	292,7
1.000.000	0,2	2,0	357	286	357,2	288

Im Hinblick auf die Herstellkosten lohnt sich bei niedrigen Stückzahlen eine Fertigung der Lastwagenkabine aus GFK, bei höheren dagegen aus Stahlblech.

Abbildungen

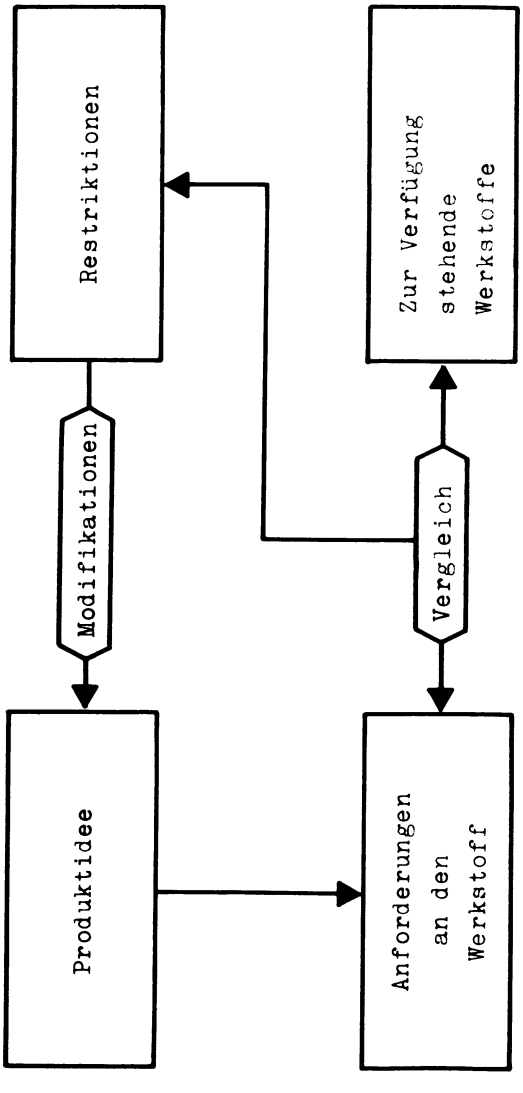


Abb. 1: Modifizierung einer Produktidee entsprechend den vorhandenen Werkstoffen

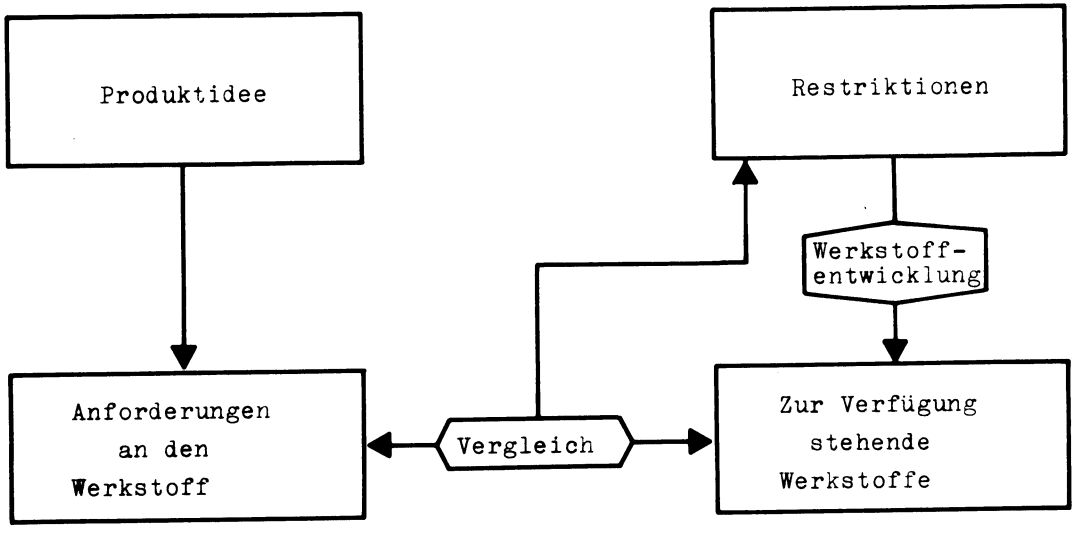


Abb. 2: Werkstoffentwicklung zur Verwirklichung einer Produktidee

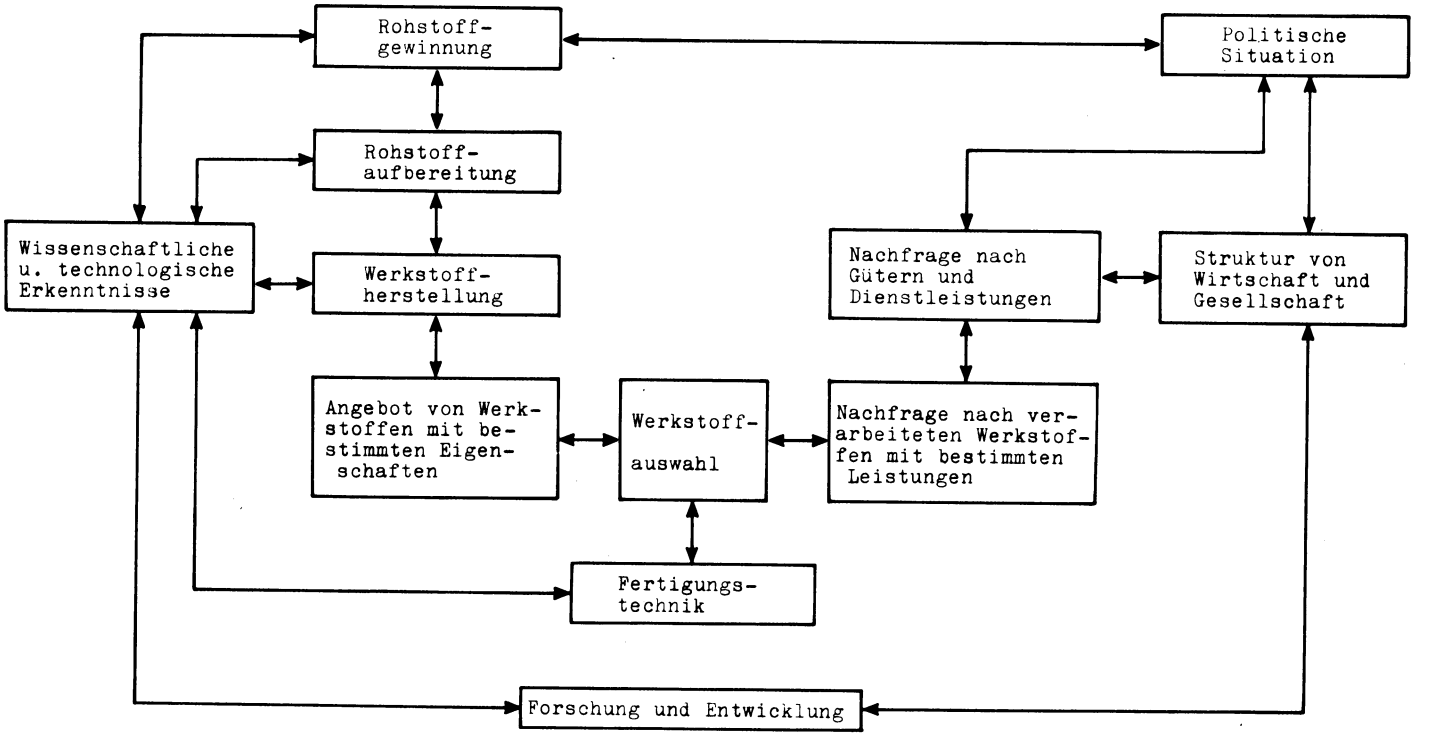


Abb. 3: Bildung von Werkstoffangebot und Werkstoffnachfrage

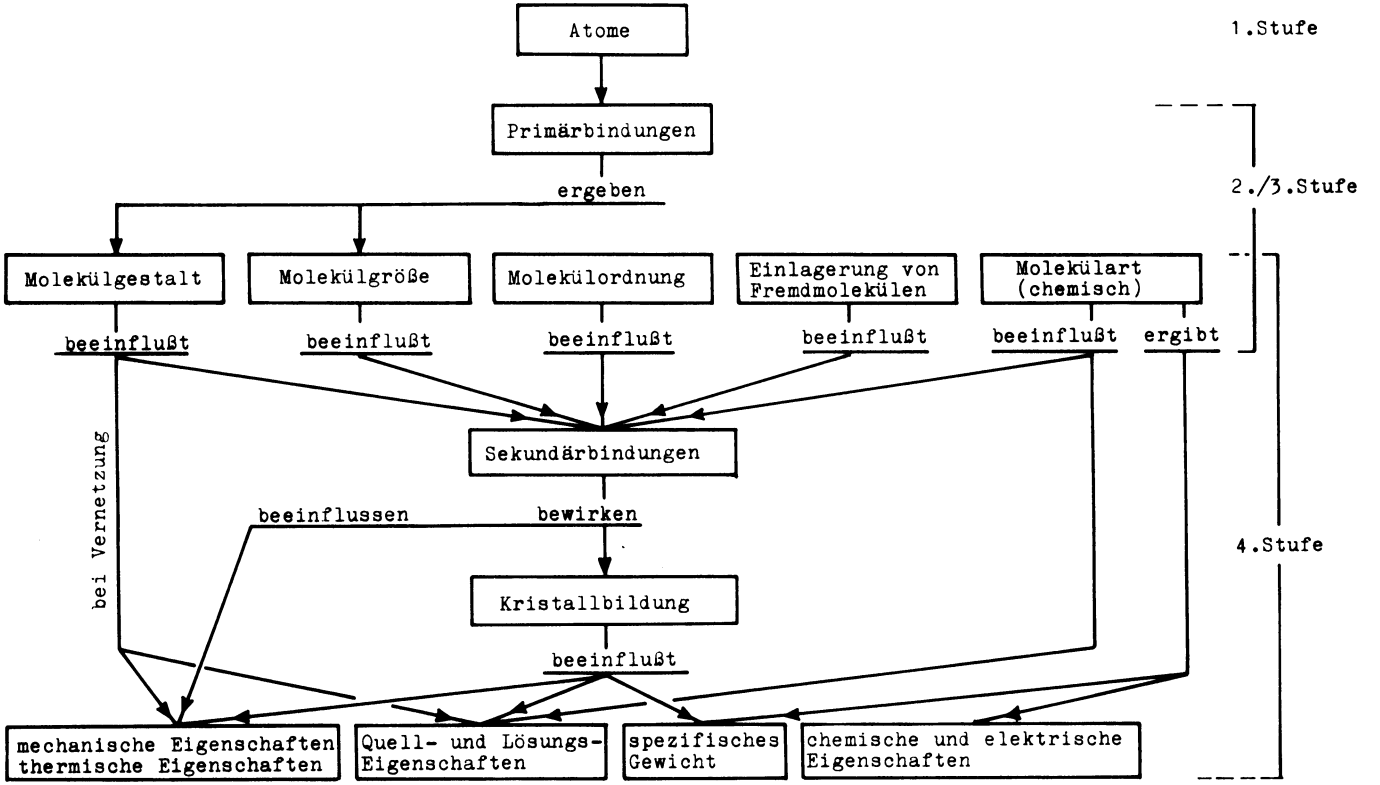
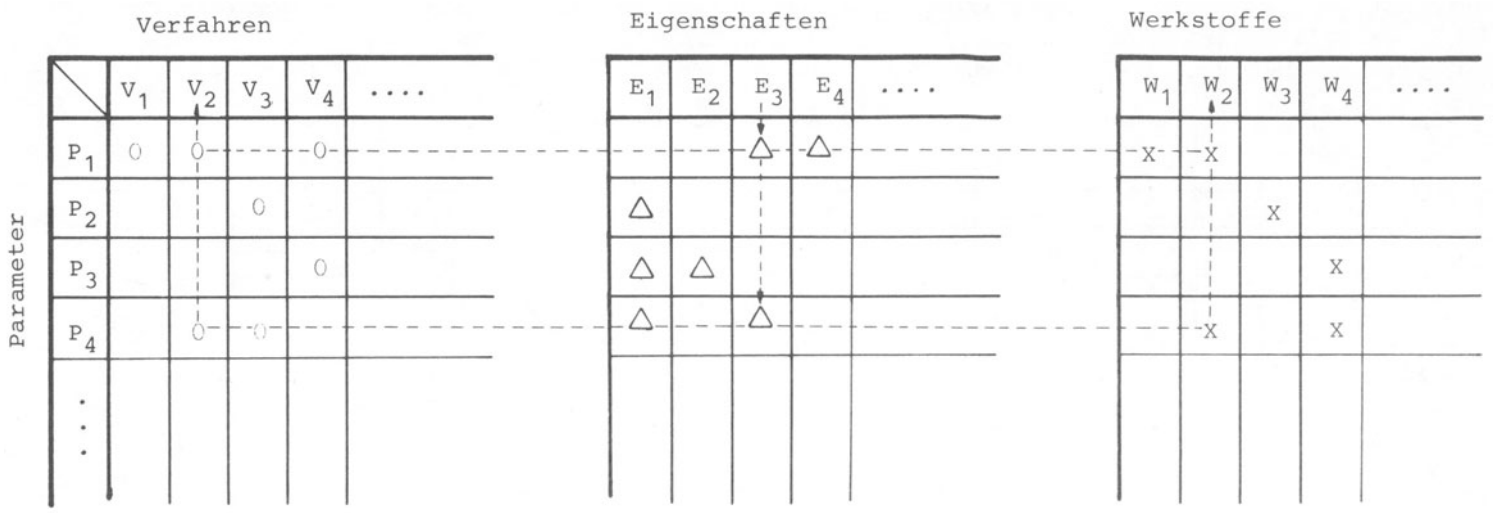


Abb. 4: Eigenschaftsbildende Faktoren bei Kunststoffen [9]



O - mögliche Kontrolle des Parameters P bei Verfahren V

Δ - Parameter P beeinflußt Eigenschaft E

X - mögliche Kontrolle des Parameters P beim Werkstoff W

Beispiel: E_3 - Dehnung bei Zugbelastung; P_1 - Kristallstruktur; P_4 - Korngröße; W_2 - Nickellegierungen; V_2 - Ziehen (warm und kalt)

Abb. 5: Analyse der Möglichkeiten zur Erzeugung einer gewünschten Werkstoffeigenschaft E_3 auf der Basis einer Systemanalyse der Zusammenhänge zwischen Werkstoffeigenschaften E, Bearbeitungsverfahren V und Werkstoffen W

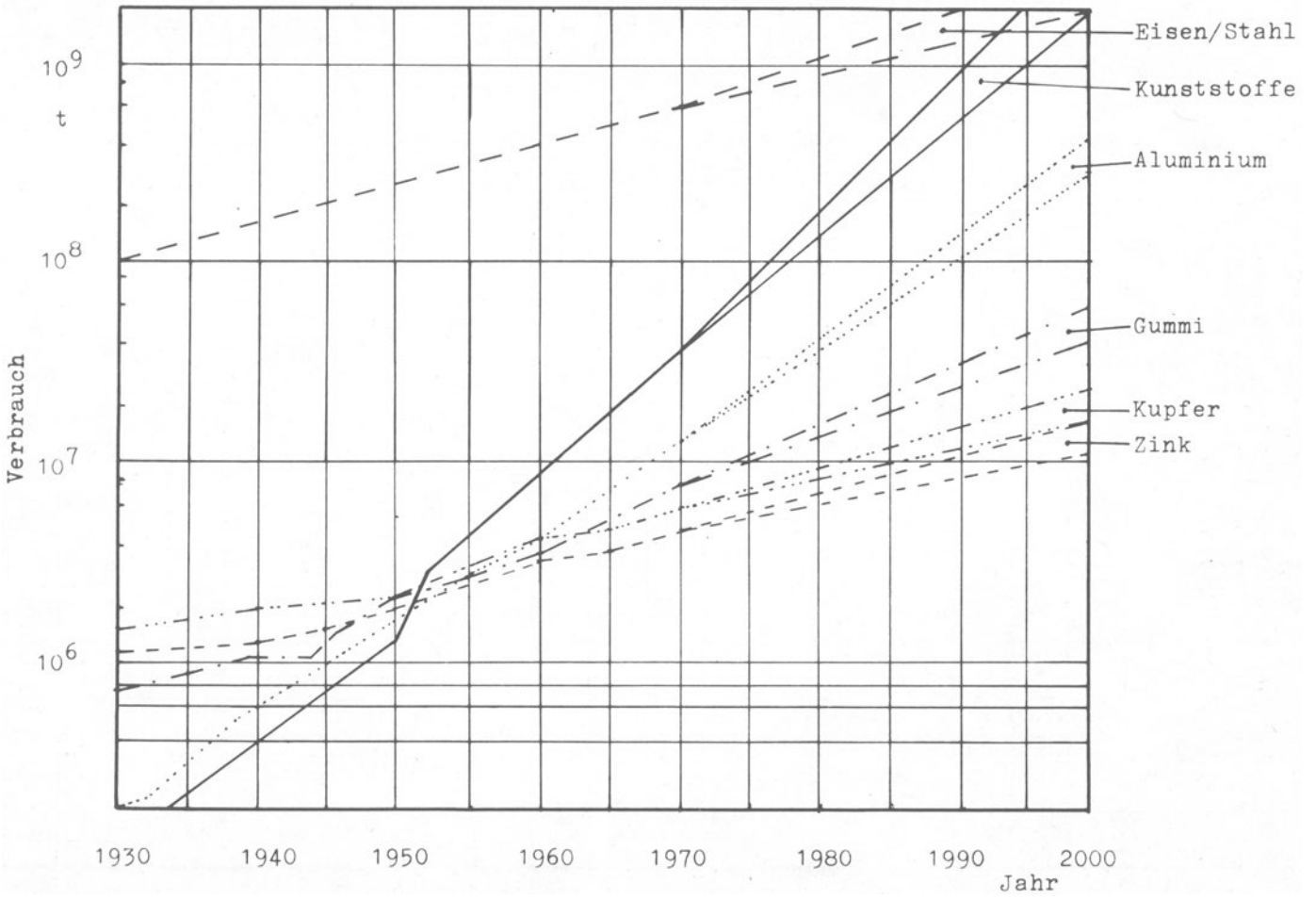


Abb. 6: Entwicklung des Weltverbrauchs wichtiger Werkstoffe [10]

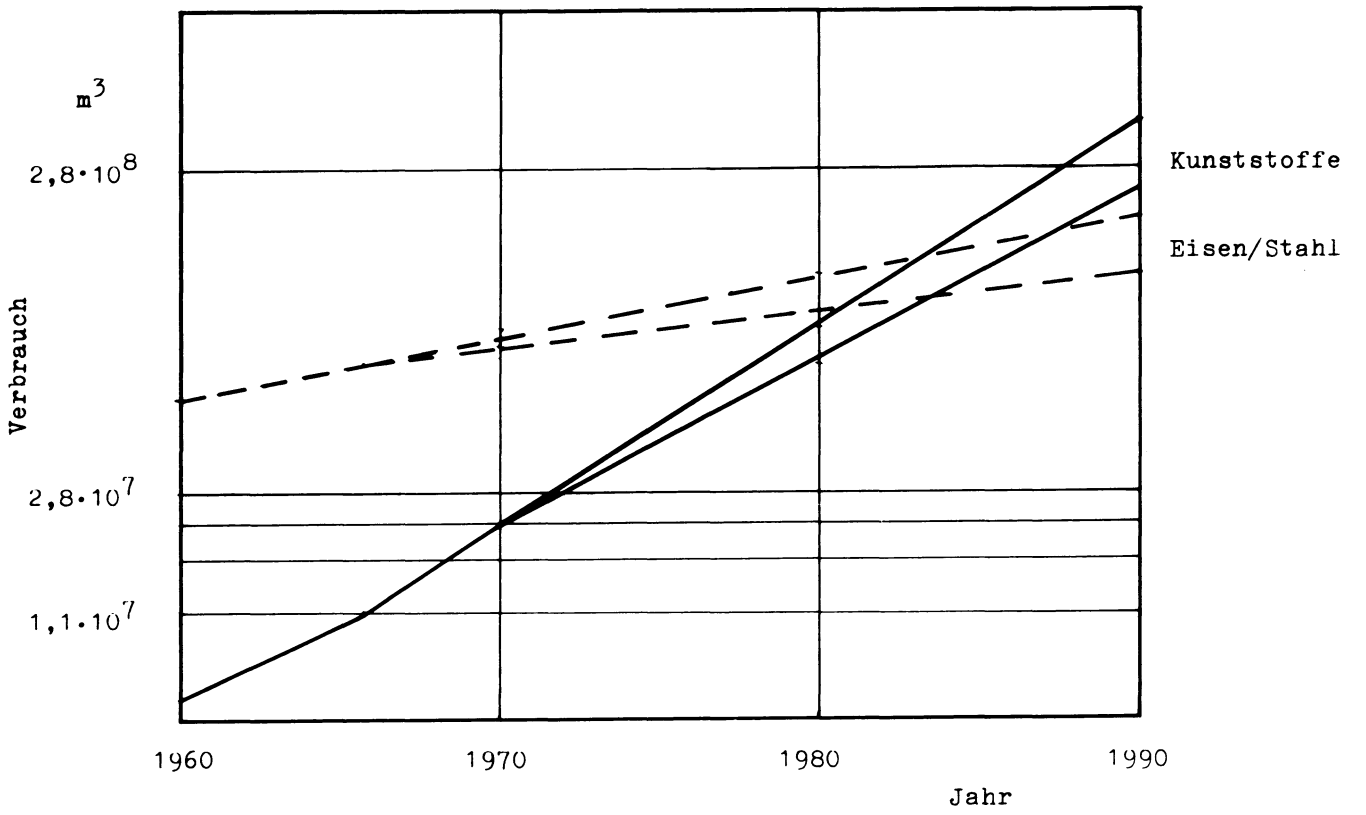


Abb. 7: Entwicklung des volumenmäßigen Weltverbrauchs von Eisen/Stahl und Kunststoffen [10]

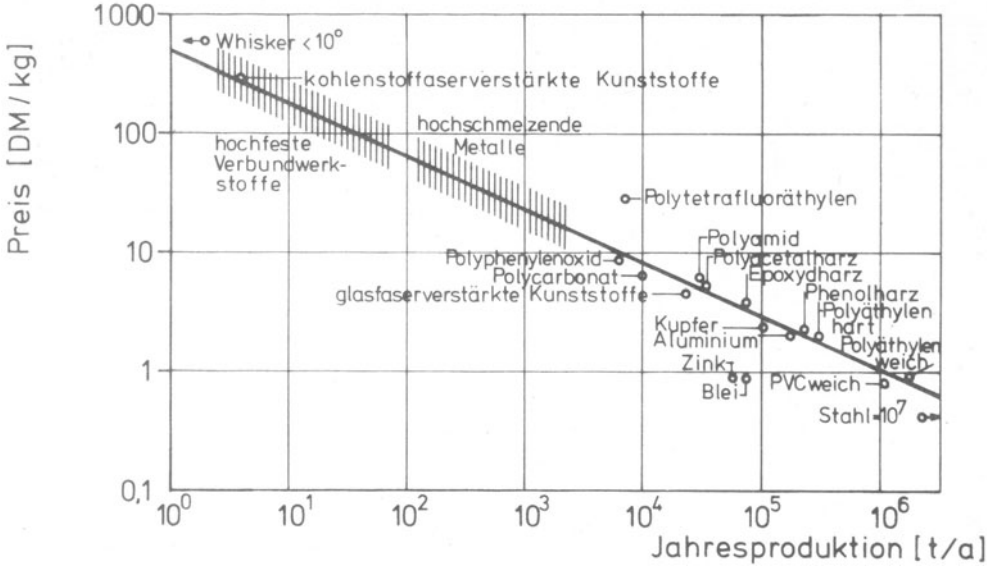


Abb. 8: Preise verschiedener Werkstoffe als Funktion der Jahresproduktion (Stand USA 1967) [6]

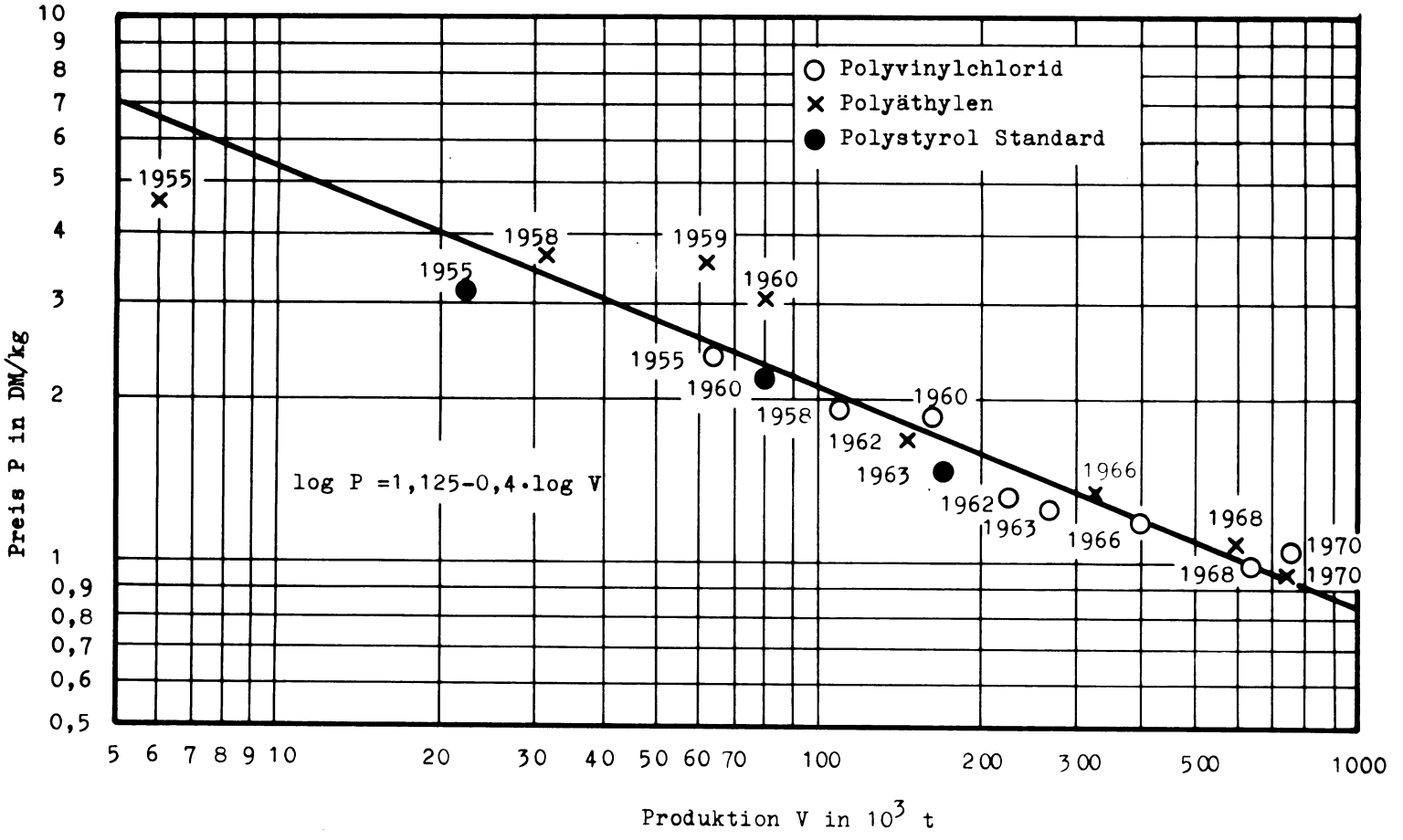


Abb. 9: Preis-Mengen-Abhängigkeit einiger Kunststoffe in der BRD im Zeitverlauf [14]

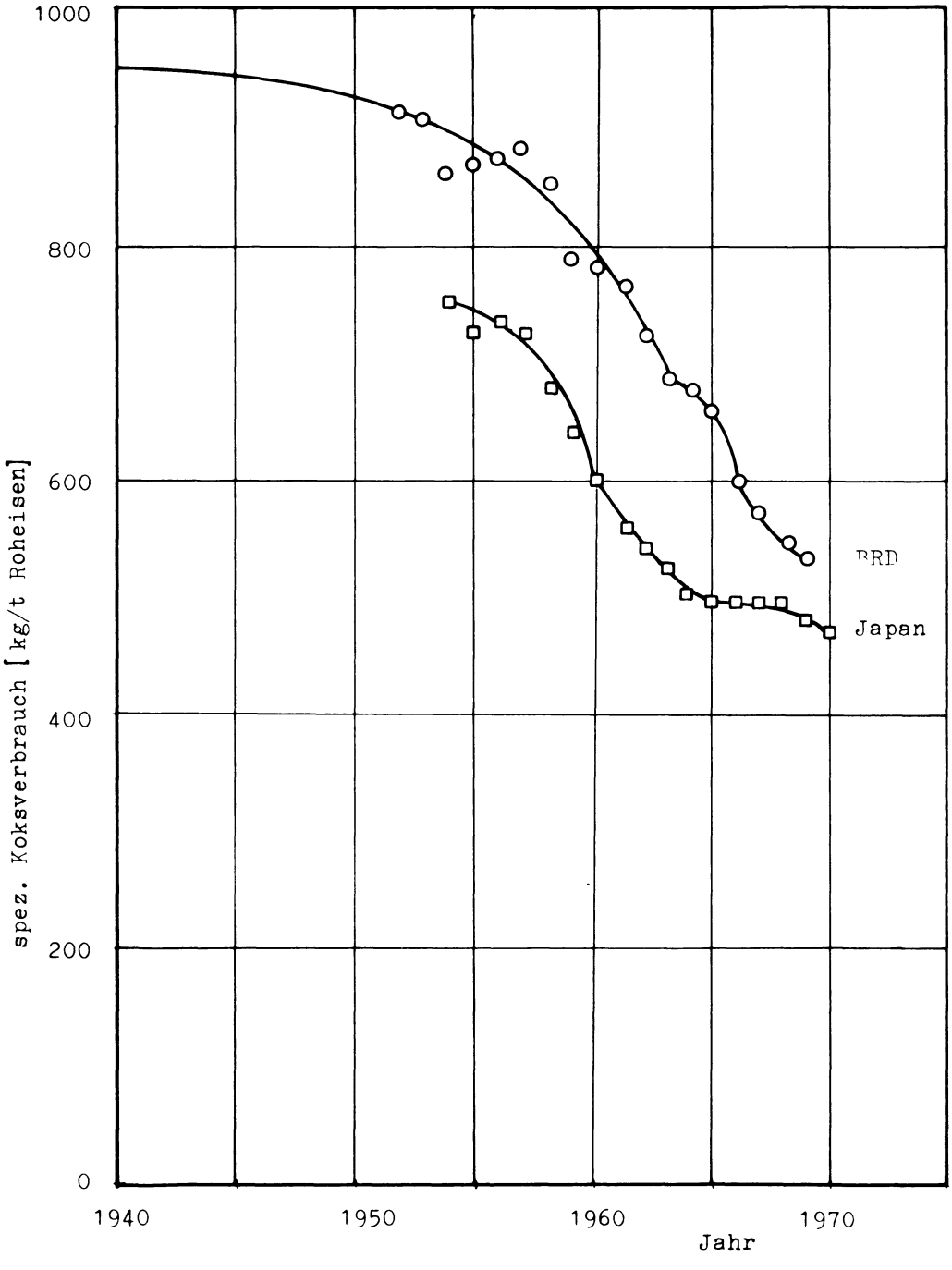


Abb. 10: Reduzierung des spezifischen Kokseinsatzes in deutschen und japanischen Hochöfen [15]

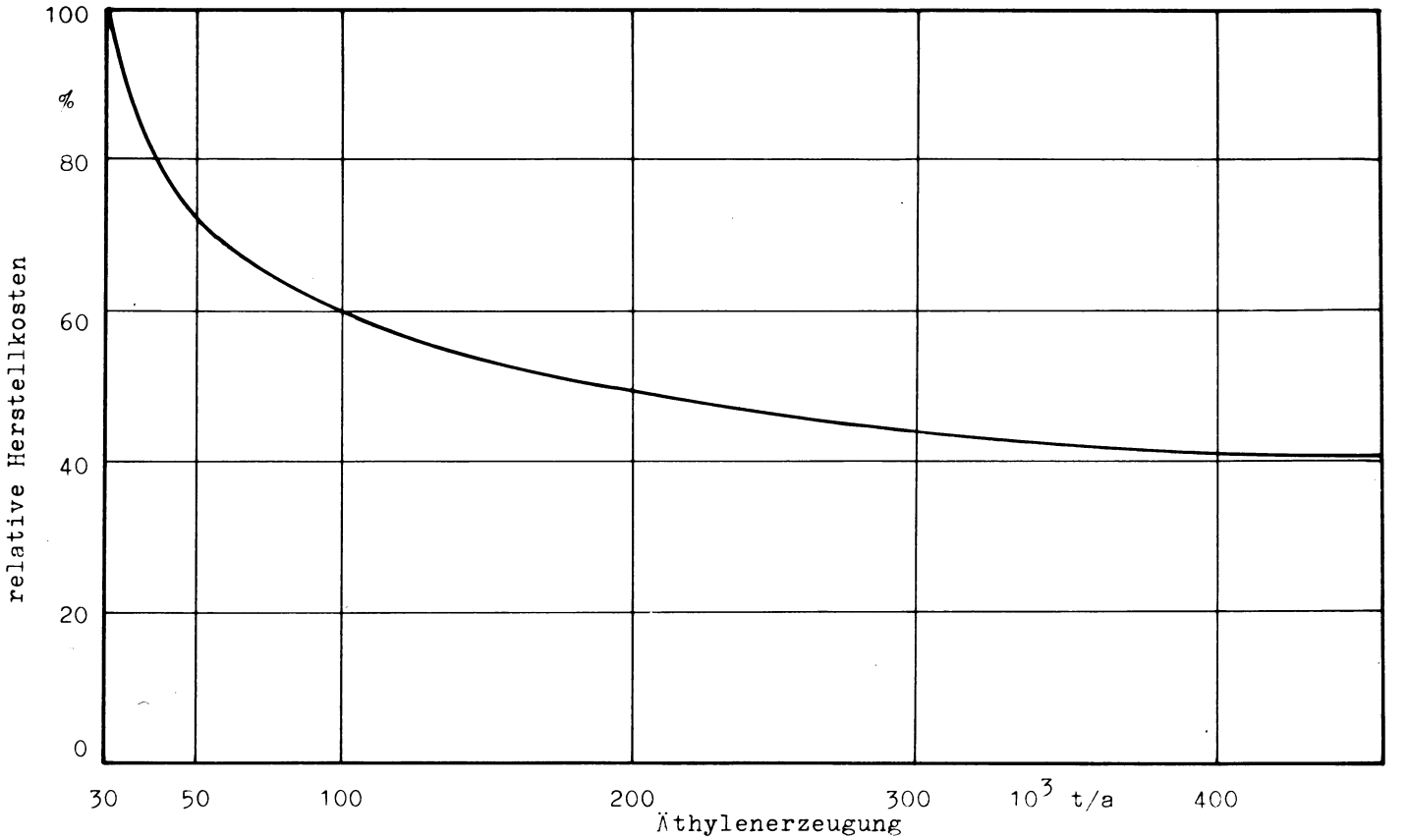


Abb. 11: Reduzierung der Herstellkosten für Äthylen durch Anlagenvergrößerung. (Die relativen Herstellkosten sind auf die Kosten bei einer Erzeugung von 30 000 t/a bezogen) [16]

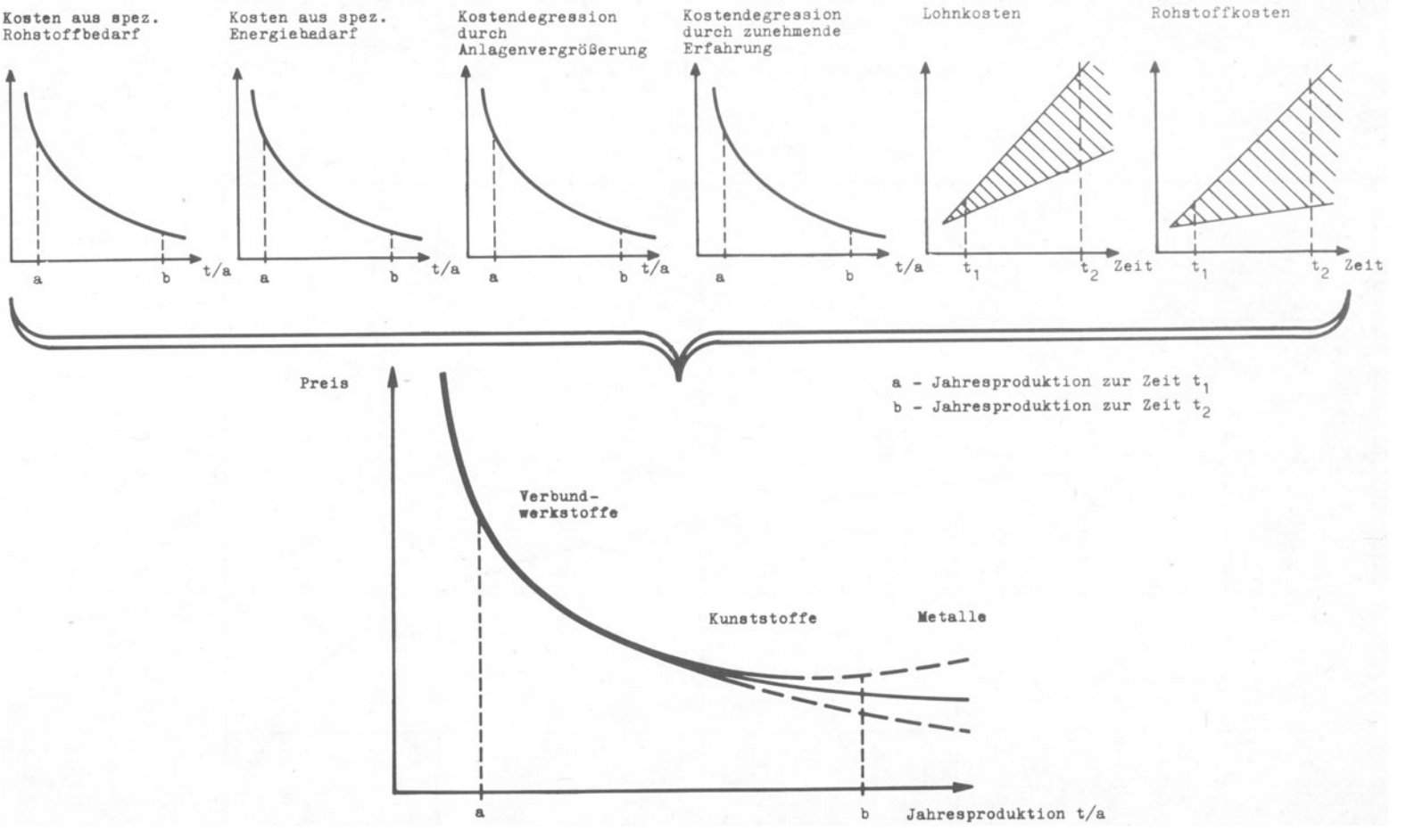


Abb. 12: Einflußgrößen auf die Preisentwicklung eines Werkstoffes

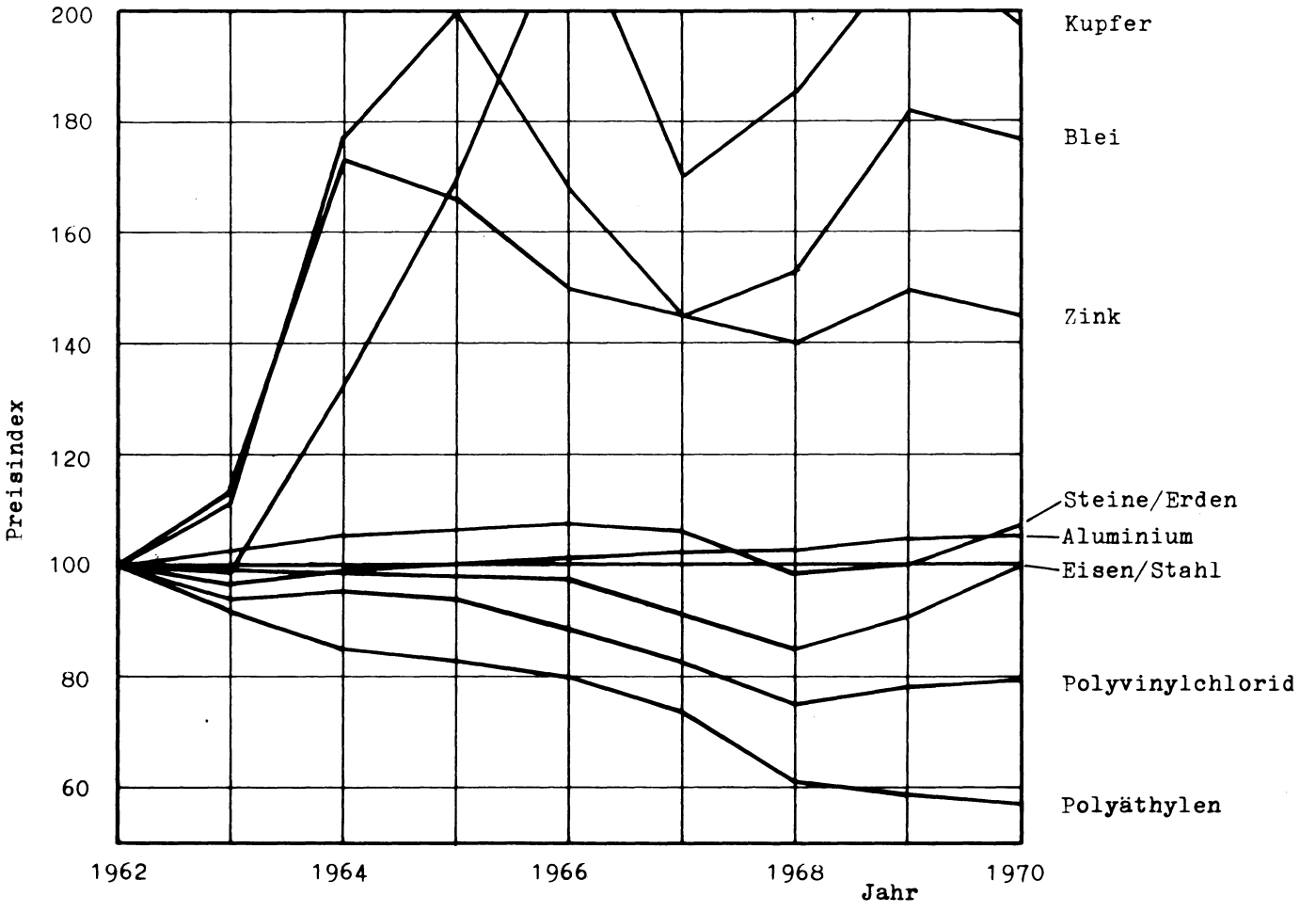


Abb. 13: Preisentwicklung für Werkstoffe in der BRD [17]
Der Preisindex wurde für das Jahr 1962 mit 100 angesetzt

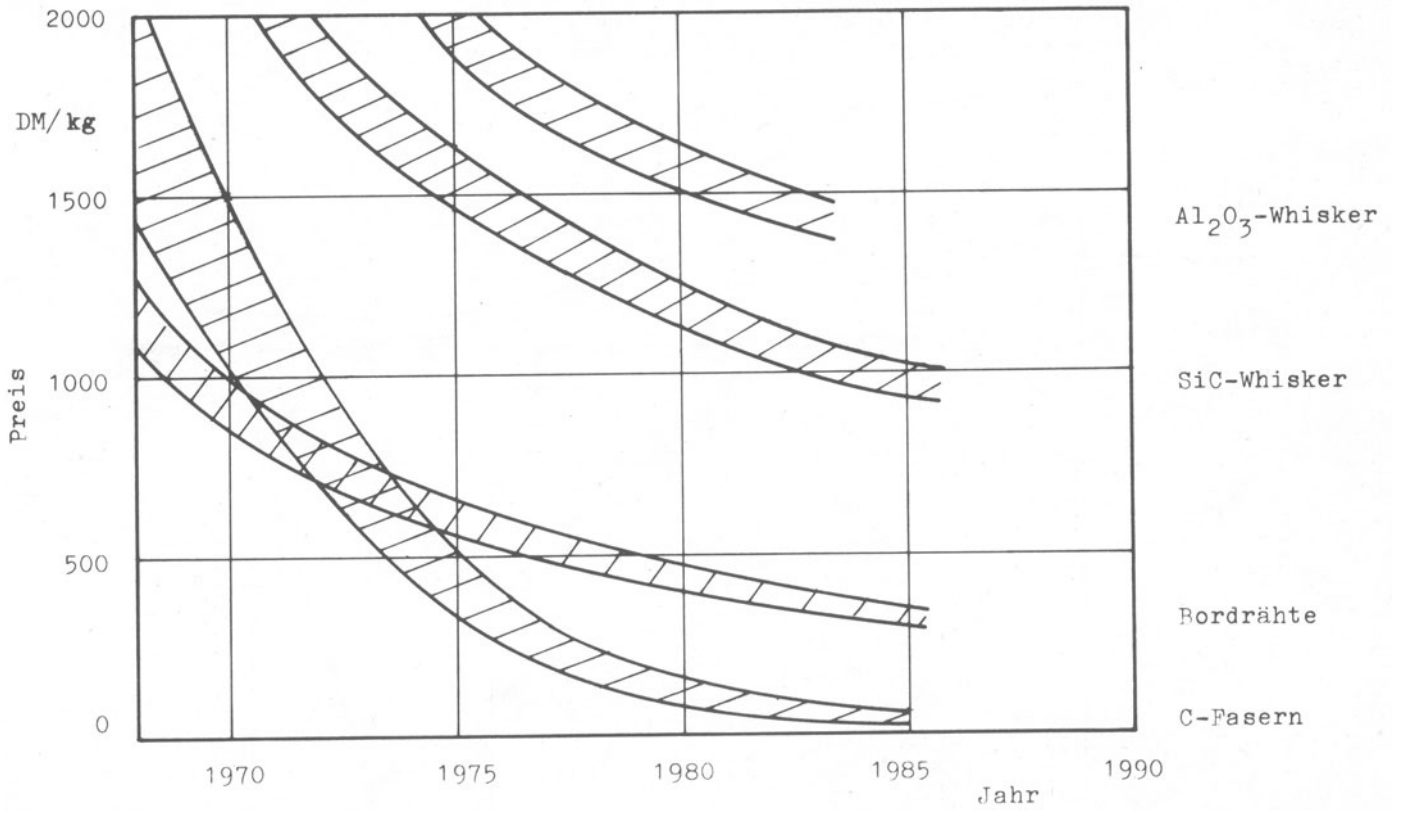


Abb. 14: Künftige Preisentwicklung von Kohlenstoffasern und anderen Verstärkungsfasern [1]

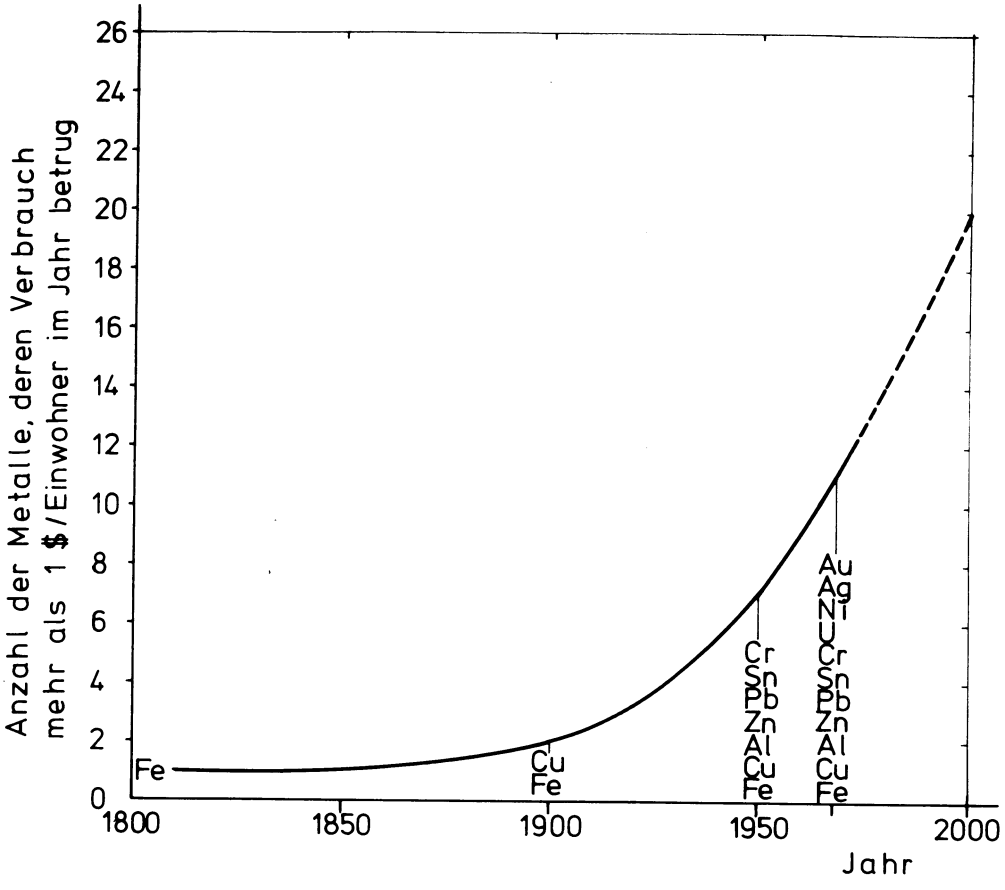


Abb. 15: Die zunehmende Anzahl metallischer Werkstoffe in den USA, deren Verbrauch wirtschaftlich bedeutsam ist [18]

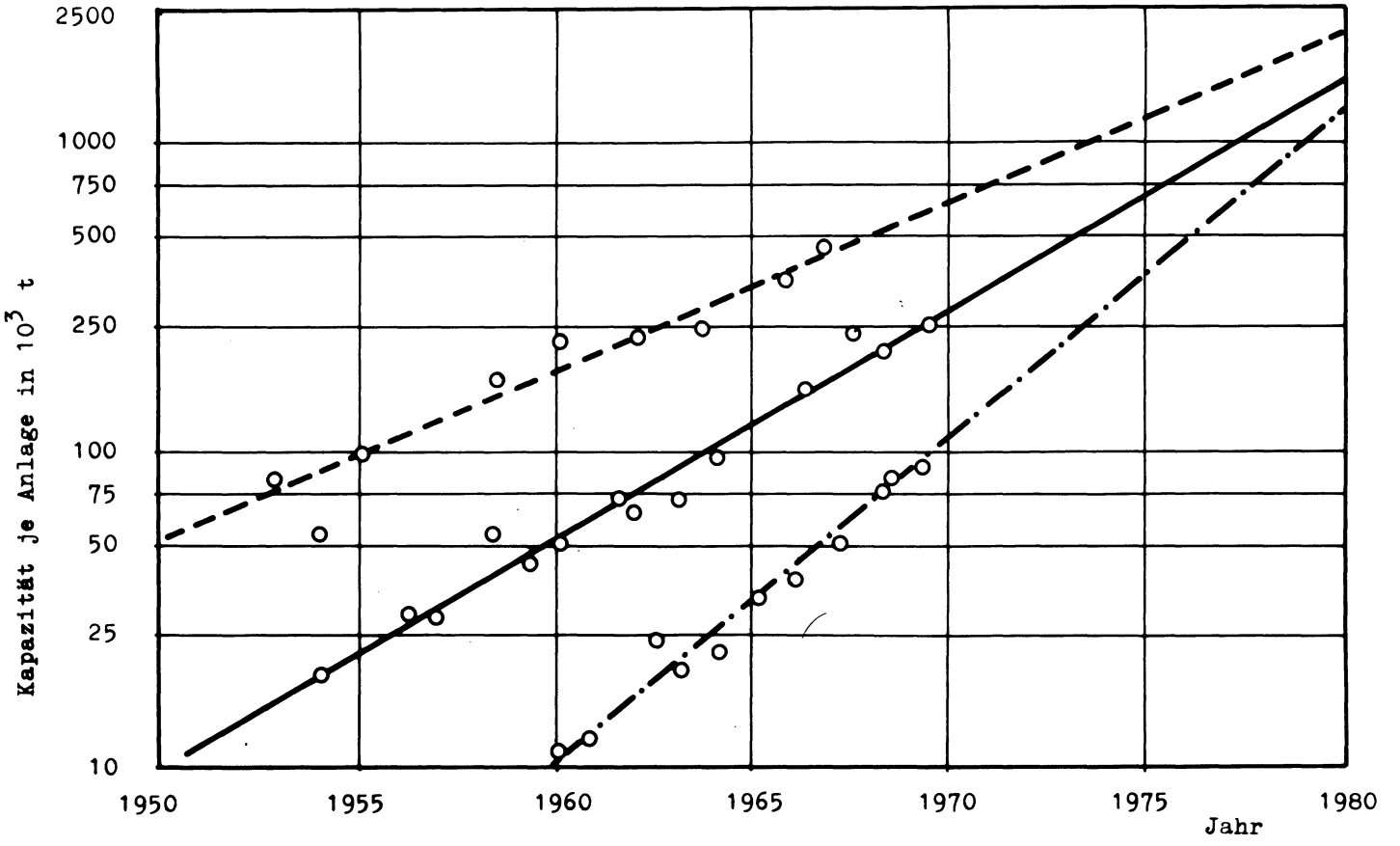


Abb. 16: Entwicklung und Prognose der maximalen, mittleren und minimalen Neubaukapazitäten von Äthylenanlagen in der westlichen Welt [19]

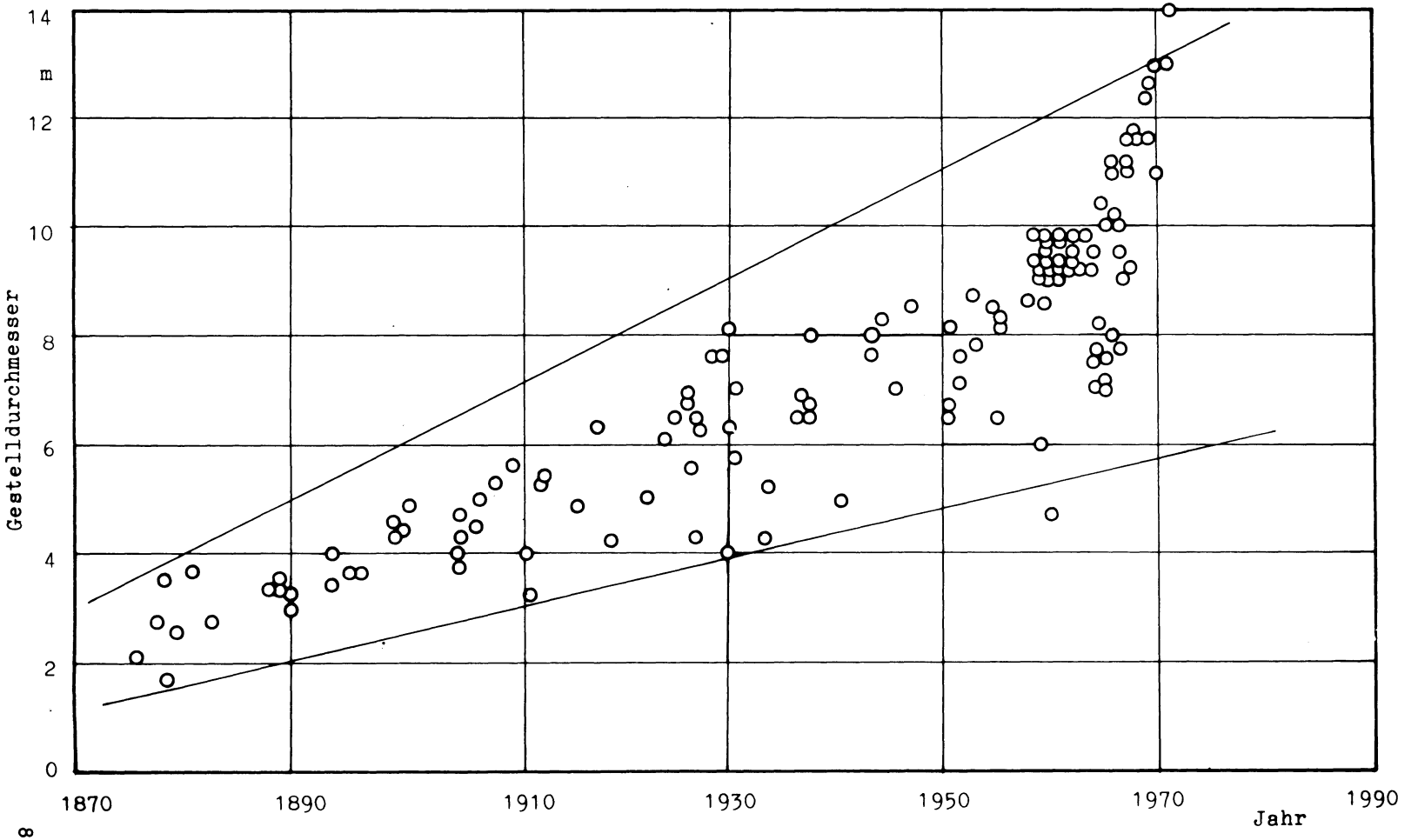


Abb. 17: Entwicklung der Gestelldurchmesser bei Hochöfen [20]

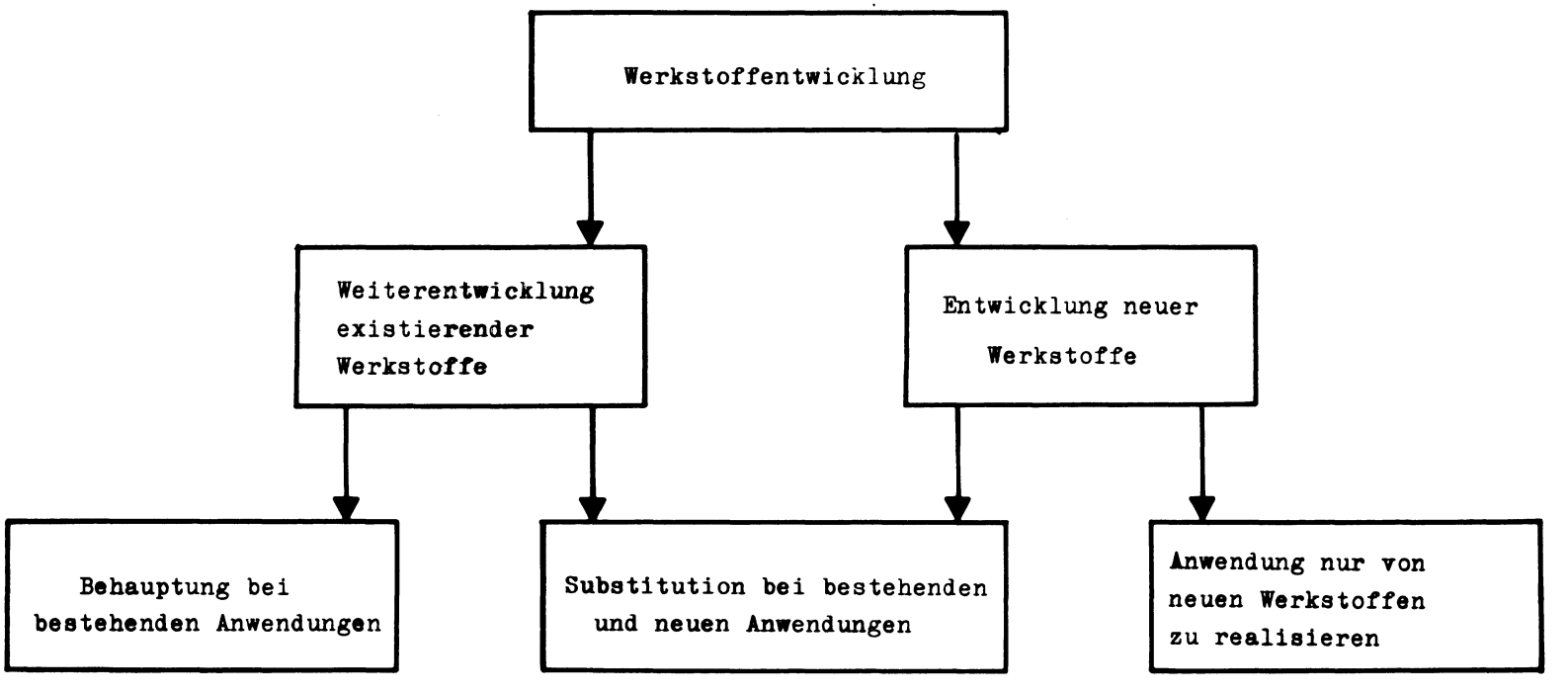


Abb. 18: Folgen der Werkstoffentwicklung

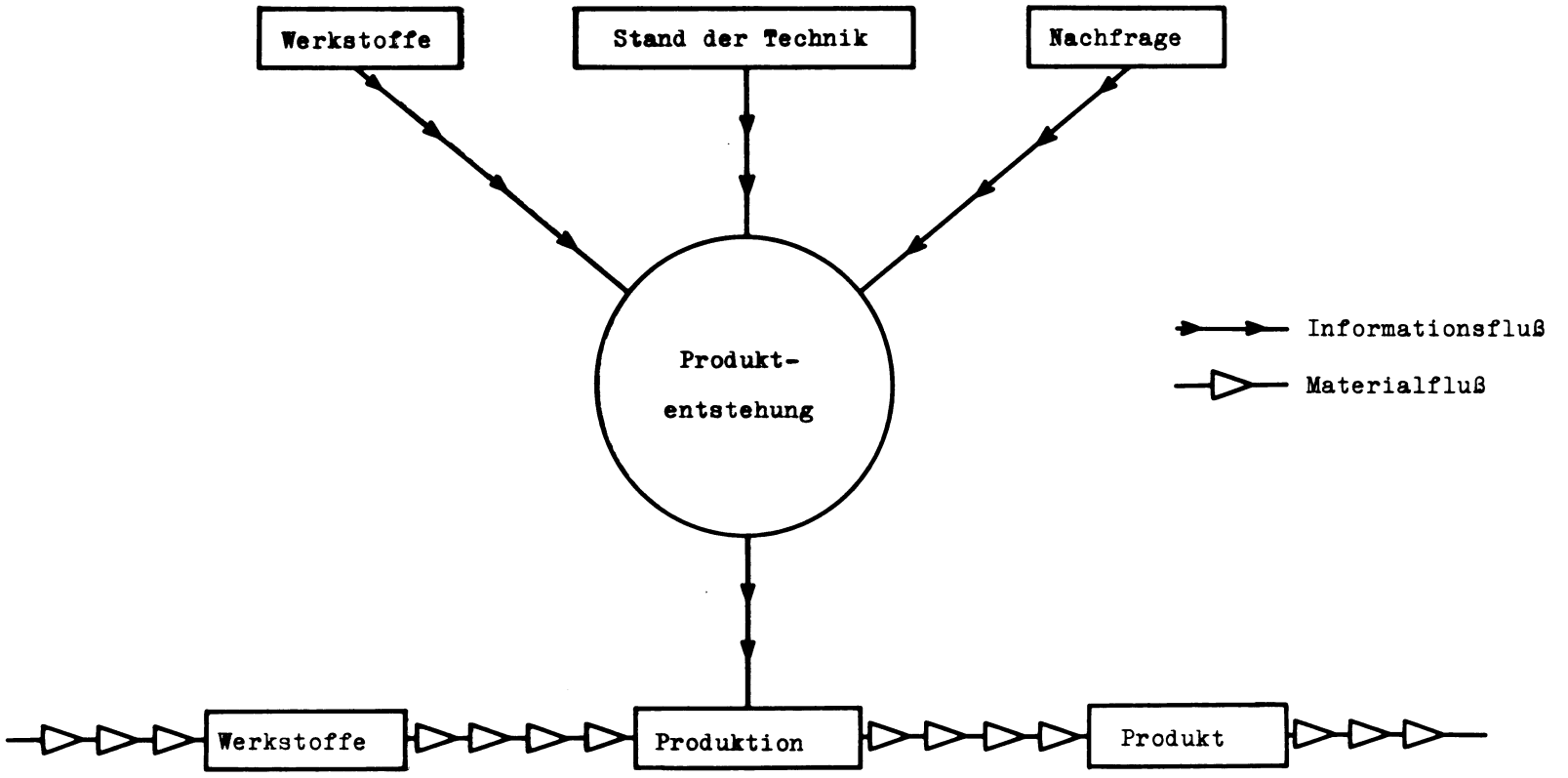


Abb. 19: Zusammenhang zwischen Material- und Informationsfluß [24]

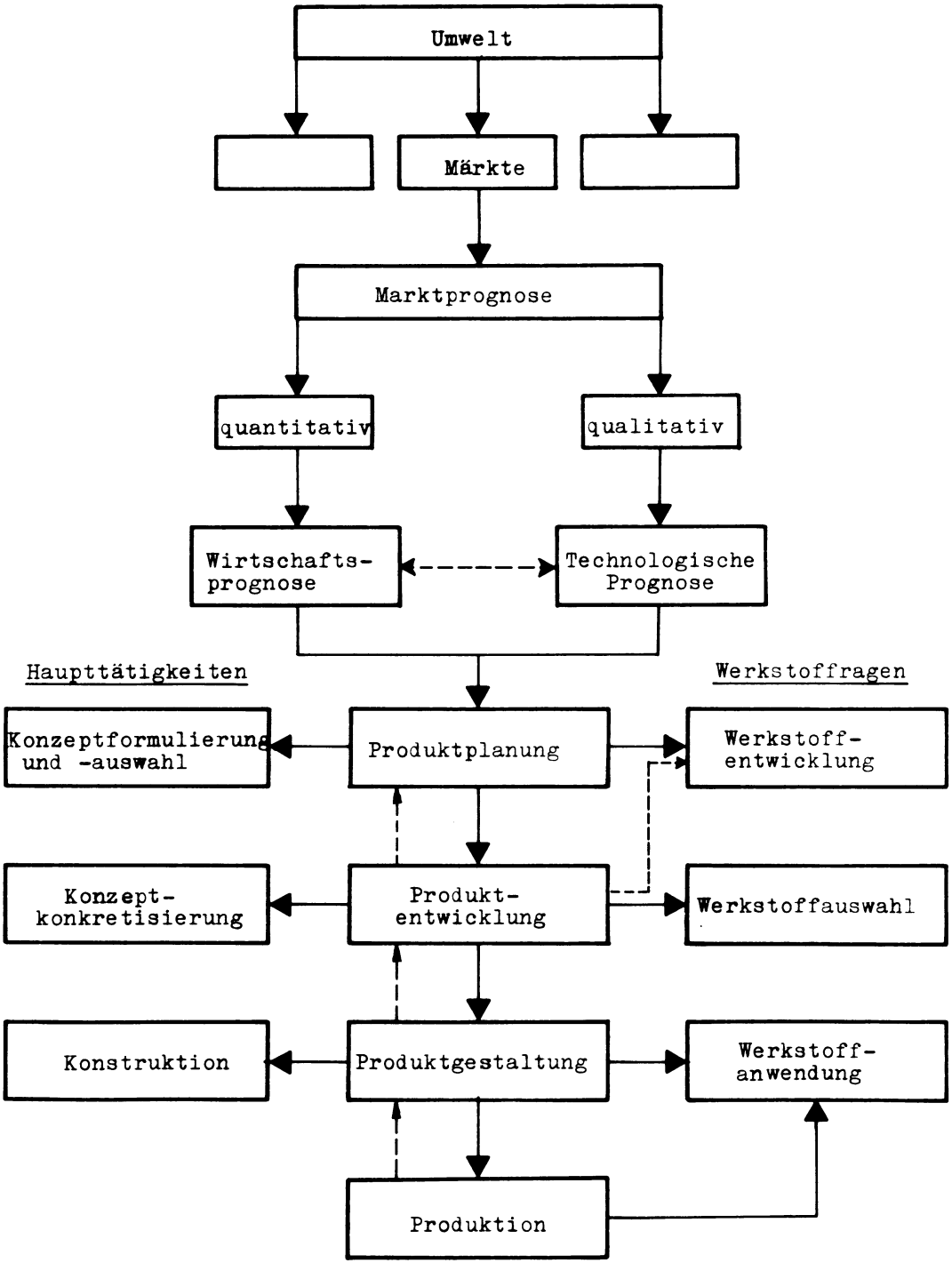


Abb. 20: Ablauf des Produktentstehungsprozesses

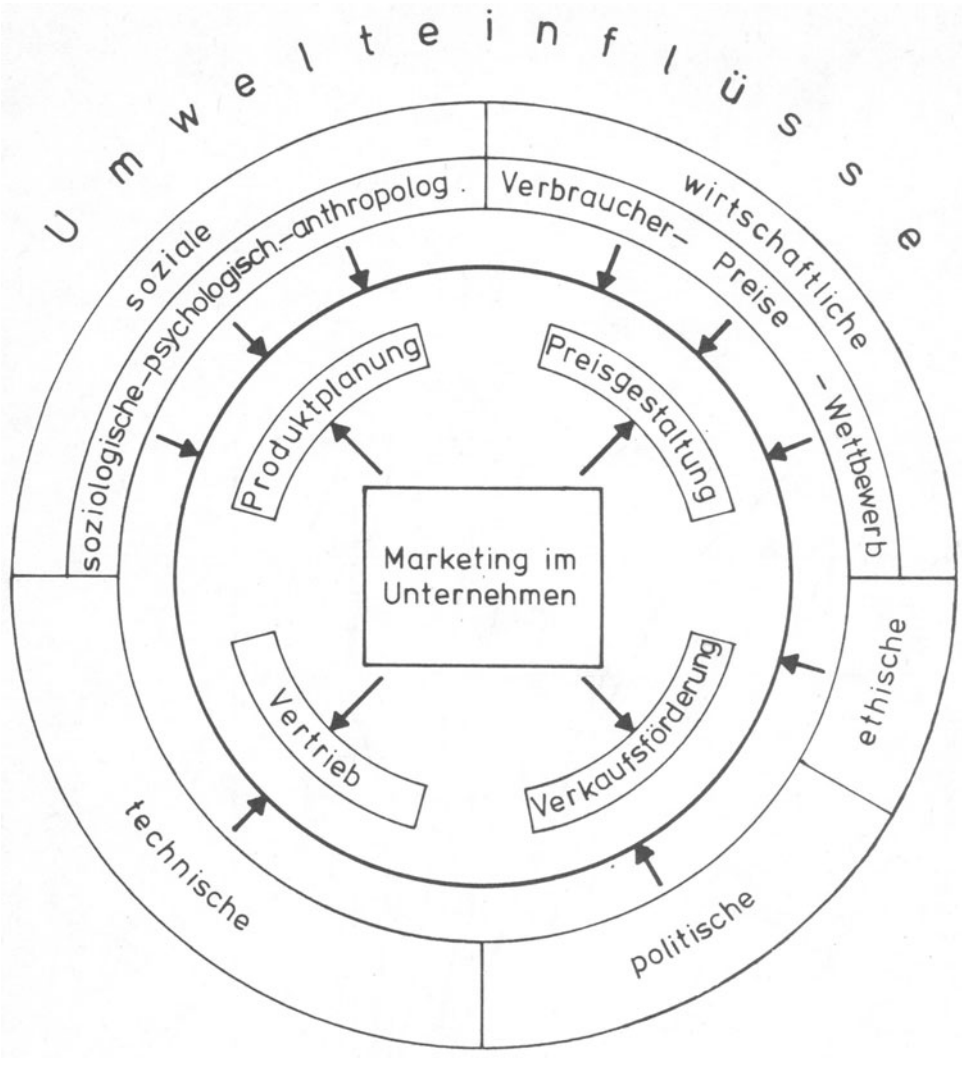


Abb. 21: Einflüsse auf das Marketing in einem Unternehmen und dessen Aktivitäten [35]

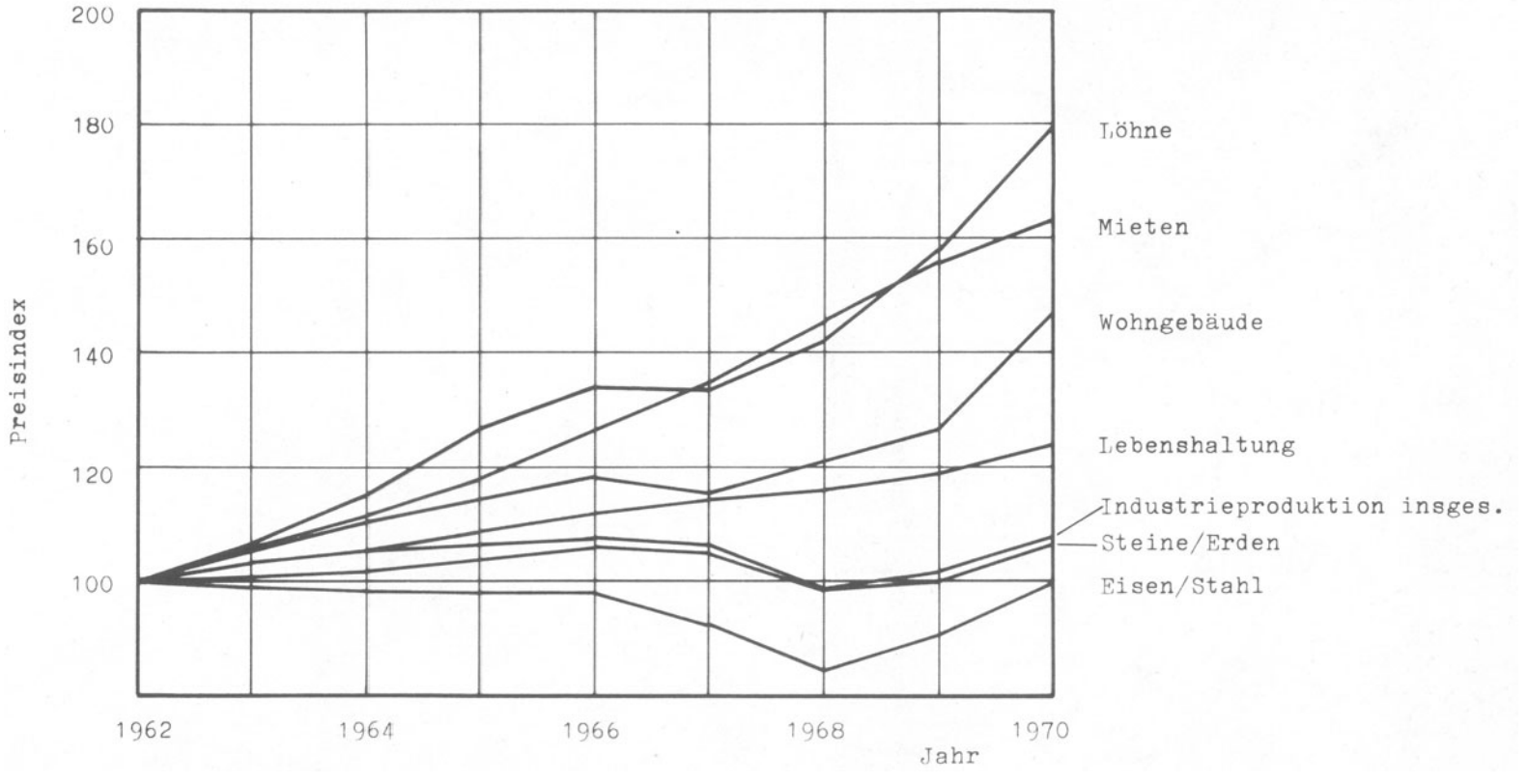


Abb. 22: Preisentwicklung in der Bundesrepublik Deutschland [17]
Der Preisindex wurde für das Jahr 1962 mit 100 angesetzt

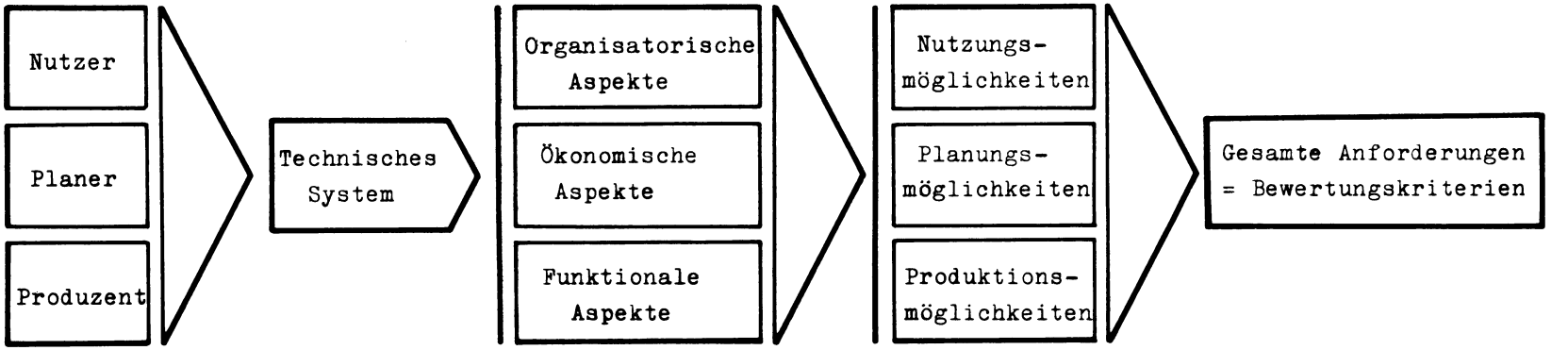


Abb. 23: Beurteilung eines technischen Systems

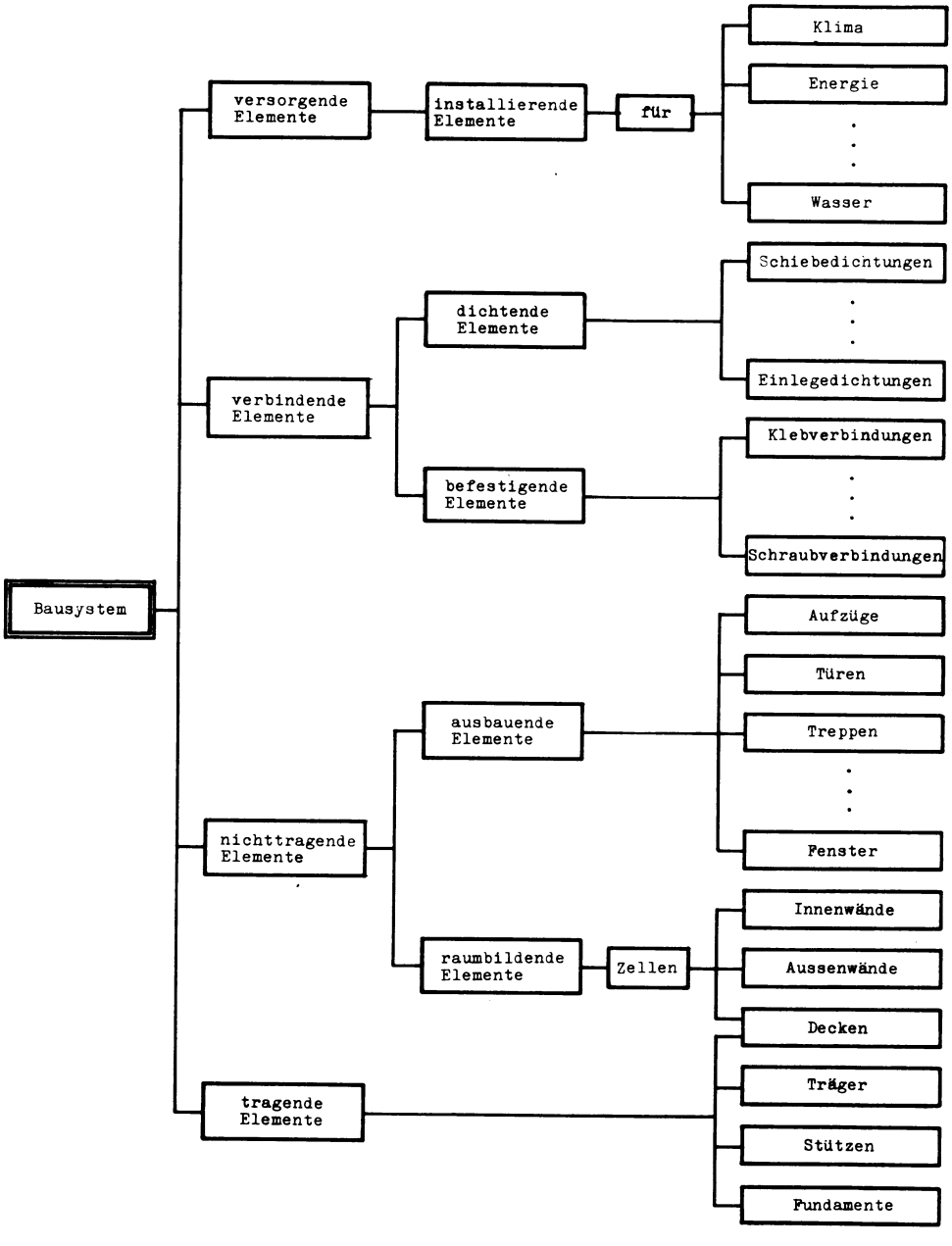


Abb. 24: Zerlegung eines Bausystems bei Trennung von raumbildender und tragender Funktion

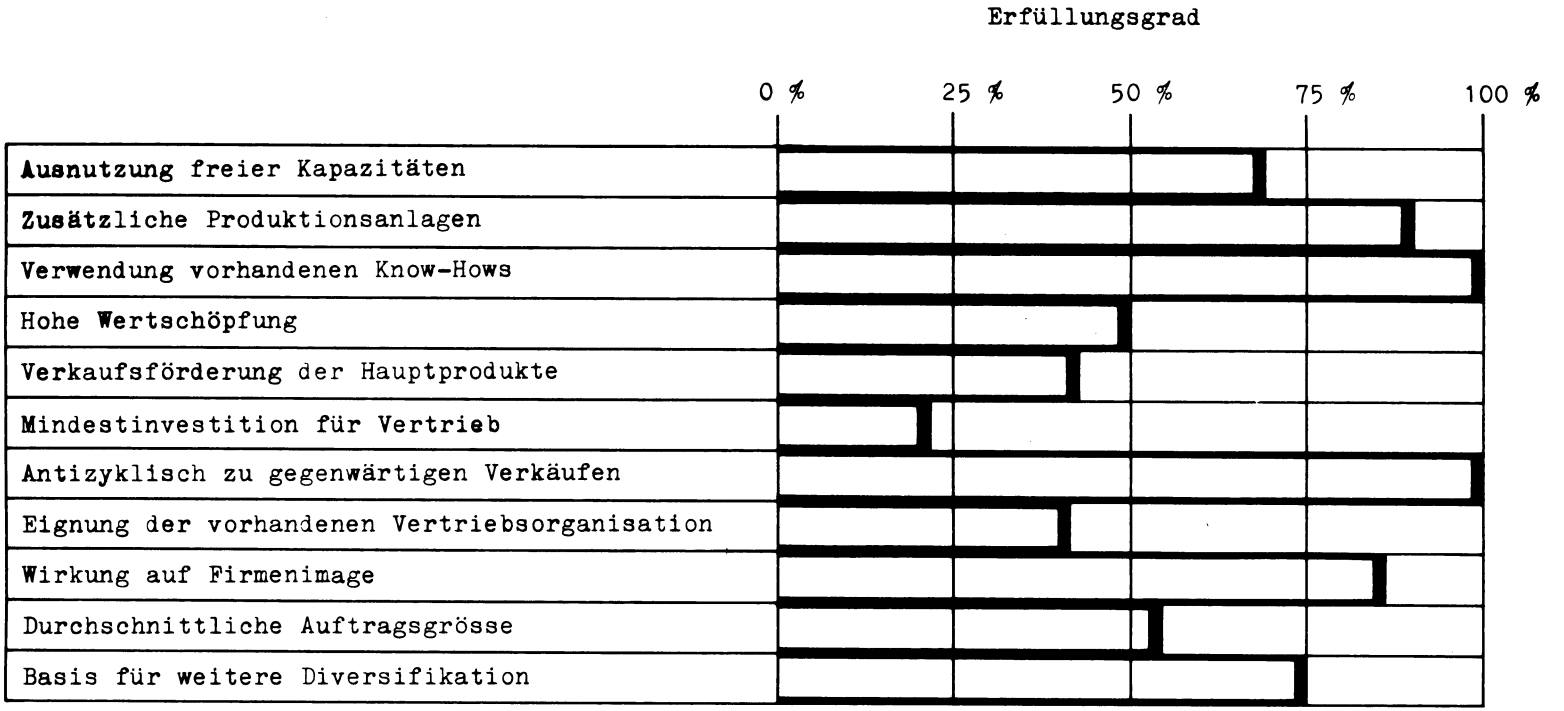


Abb. 25: Unternehmensspezifische Kriterien zur Bewertung neuer Produkte

WERKSTOFFE / PRODUKTE	1. FUNDAMENTE	2. STÜTZEN	3. TRÄGER	4. DECKEN	5. DACH	6. AUSSENWÄNDE	7. INNENWÄNDE	8. FENSTER	9. TREPPEN	10. TÜREN	11. AUFZÜGE	12. VERBINDUNGEN	13. DICHTUNGEN	14. WASSERVERSORG	15. ENTSORGUNG	INSTALLATION F 16. HEIZUNG	17. KLIMATISIERUNG	18. GASVERSORGUNG	19. ELEKTRIZITÄT	20. SICHERHEITSANLAG.	21. SONST. ANLAGEN
1. BETON 1.1. LEICHTBETON				O	O	O	O		O												
1.2. SCHWERBETON	O				O				O												
1.3. STAHLBETON	O	O	O	O	O				O												
1.4. SPANNBETON		O	O	O	O				O												
2. GIPS / PUTZ						O	O														
3. MAUERWERK 3.1. MAUERZIEGEL																					
3.2. KALKSANDSTEIN																					
3.3. HÜTTENSTEINE																					
3.4. BETONSTEINE																					
3.5. NATURSTEINE																					
4. KUNSTSTEINE / KERAMIK						O	O		O												
5. ASBESTZEMENT					O	O	O		O	O				O	O	O	O				
6. HOLZ 6.1. KONSTRUKTIV					O	O	O		O												
6.2. AUSBAUEND						O	O	O	O	O	O										
7. KUNSTSTOFFE 7.1. VERSTÄRKT						O	O														
7.2. UNVERSTÄRKT						O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O		O		O
7.3. GESCHÄUMT					O	O	O	O		O	O					O					
7.4. KUNSTSTOFF BETON					O	O	O														
8. TEER, BITUMEN, ASPHALT	O				O	O			O				O								
9. STAHL 9.1. STAHL		O	O		O	O		O	O	O	O	O		O	O	O	O	O		O	O
9.2. GUSSEISEN									O		O			O	O	O					
10. NE-METALLE 10.1. ZINK					O								O								
10.2. ALUMINIUM					O	O		O	O	O	O					O	O				
10.3. KUPFER					O								O	O		O			O		O
10.4. BLEI													O		O						
11. GLAS 11.1. GEPRESST (STEINE)					O	O	O	O		O											
11.2. GEZOGEN (SCHEIBEN)					O	O	O	O		O											
11.3. GEGOSSEN (STEINE)					O	O	O	O		O											
11.4. FASERN/GESCHÄUMT					O	O	O			O						O					
12. ANSTRICHMITTEL						O	O	O	O	O	O										
13. GUMMI U.Ä.								O		O	O		O								

O HAUPTSÄCHLICHER WERKSTOFFEINSATZ

Abb. 26: Werkstoffeinsatzmatrix für die Fertigung der Produkte eines Bausystems bei Trennung von raumbildender und tragender Funktion

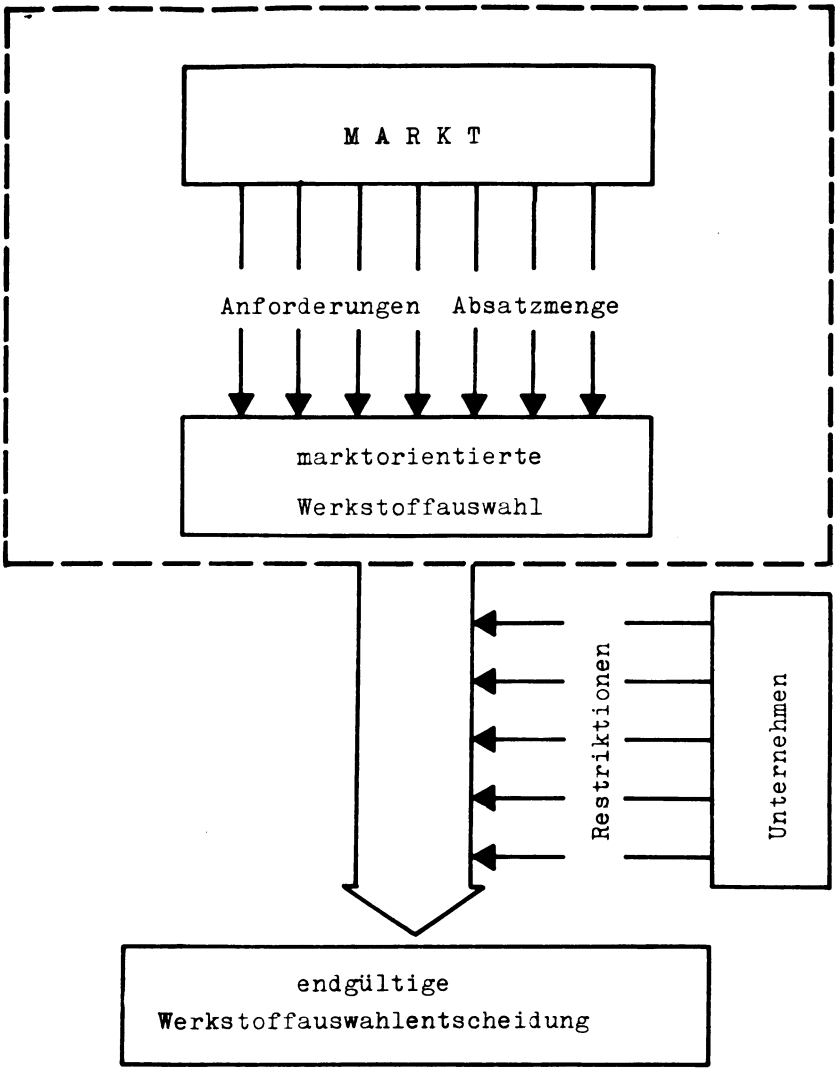


Abb. 27: Stufen der Werkstoffauswahl

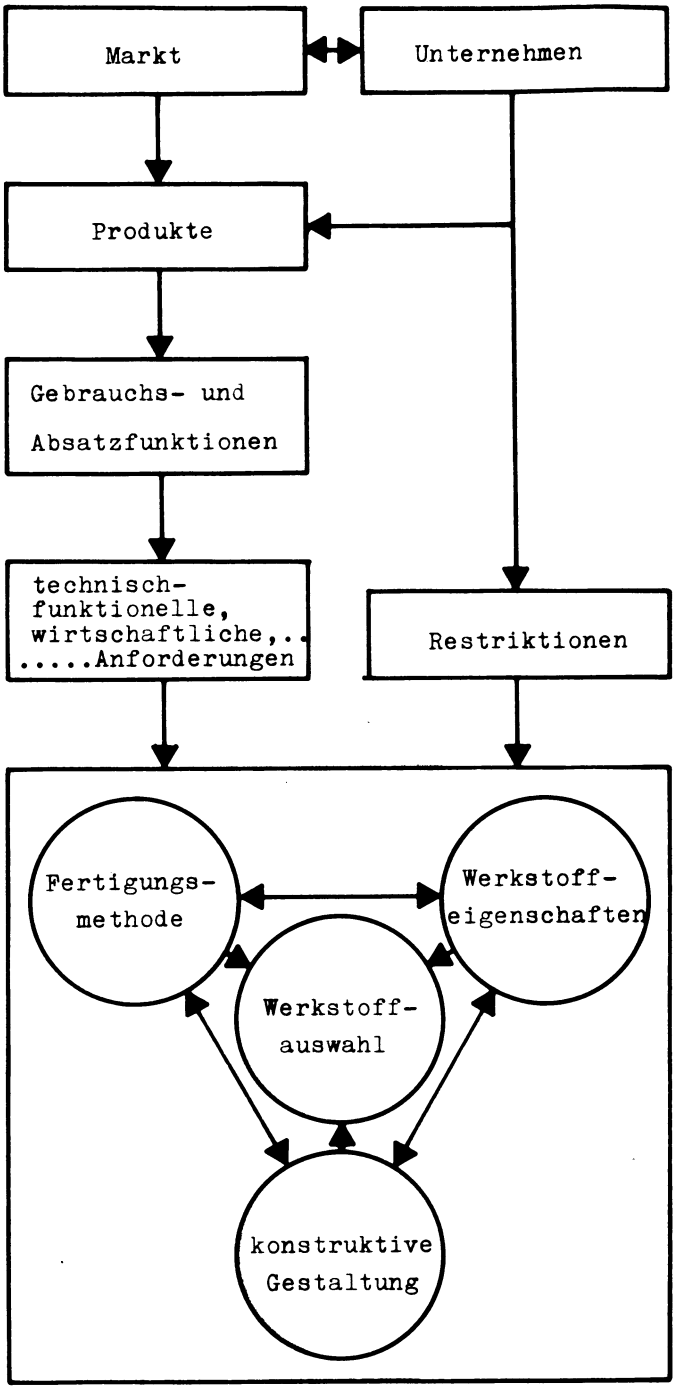


Abb. 28: Einflußgrößen auf die Werkstoffauswahl

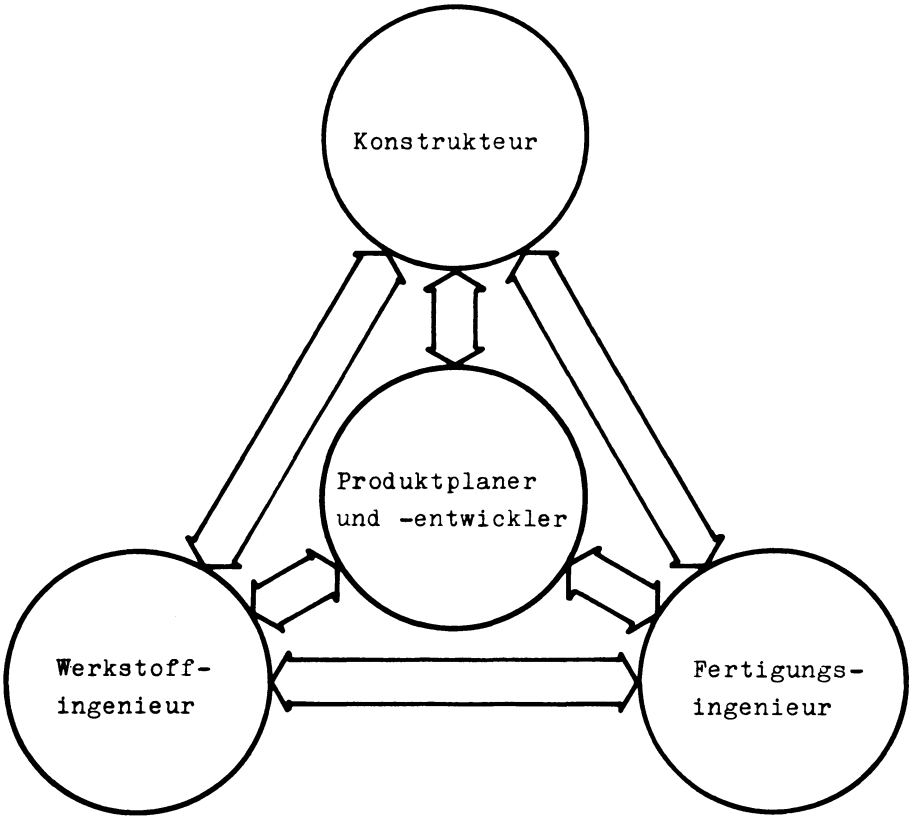


Abb. 29: Koordination des Produktentstehungsprozesses über den Produktplaner und -entwickler

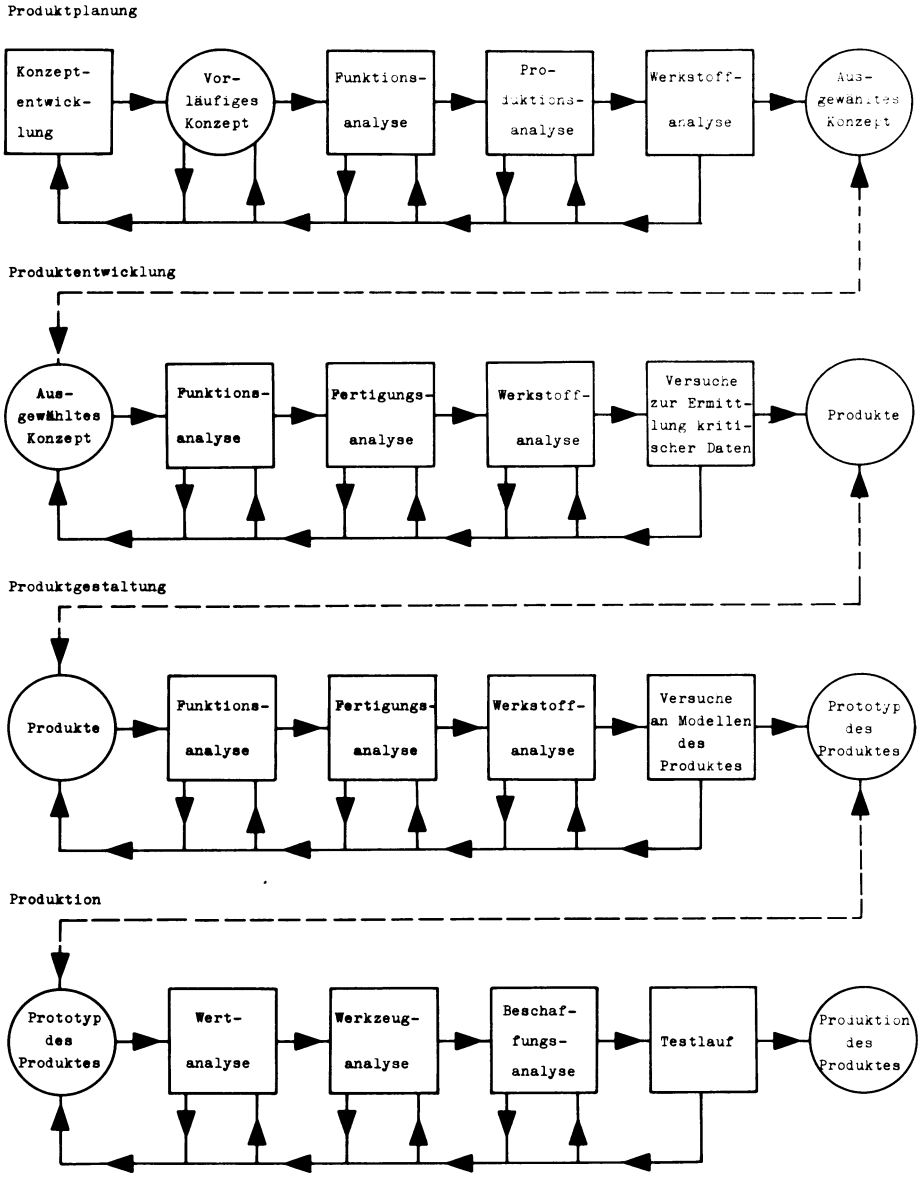


Abb. 30: Der Produktentstehungsprozeß [43]

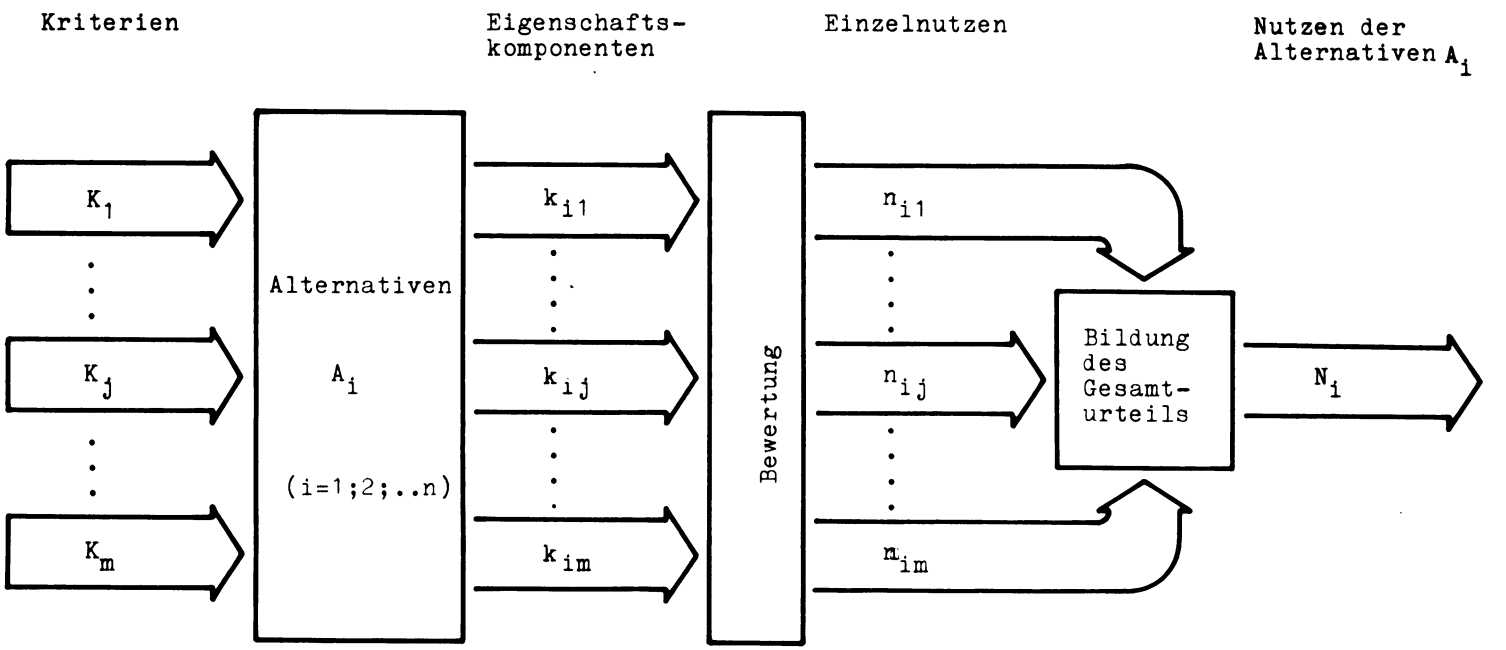


Abb. 31: Darstellung des multidimensionalen Entscheidungsproblems [53]

	K_1	K_2	.	.	K_j	.	.	K_m
A_1	k_{11}	k_{12}	.	.	k_{1j}	.	.	k_{1m}
A_2	k_{21}	k_{22}	.	.	k_{2j}	.	.	k_{2m}
.	.	.			.			.
.	.	.			.			.
A_i	k_{i1}	k_{i2}	.	.	k_{ij}	.	.	k_{im}
.	.	.			.			.
.	.	.			.			.
A_n	k_{n1}	k_{n2}	.	.	k_{nj}	.	.	k_{nm}

Zielertragsmatrix

Bewertung

	K_1	K_2	.	.	K_j	.	.	K_m
A_1	n_{11}	n_{12}	.	.	n_{1j}	.	.	n_{1m}
A_2	n_{21}	n_{22}	.	.	n_{2j}	.	.	n_{2m}
.	.	.			.			.
.	.	.			.			.
A_i	n_{i1}	n_{i2}	.	.	n_{ij}	.	.	n_{im}
.	.	.			.			.
.	.	.			.			.
A_n	n_{n1}	n_{n2}	.	.	n_{nj}	.	.	n_{nm}

Nutzenmatrix

Addition

A_1	$N_1 = \sum_{j=1}^{m} n_{1j}$
A_2	$N_2 =$
.	.
.	.
A_i	$N_i = \sum_{j=1}^{m} n_{ij}$
.	.
.	.
A_n	$N_n = \sum_{j=1}^{m} n_{nj}$

Gesamtnutzen

Abb. 32: Die Elemente des multidimensionalen Entscheidungsproblems

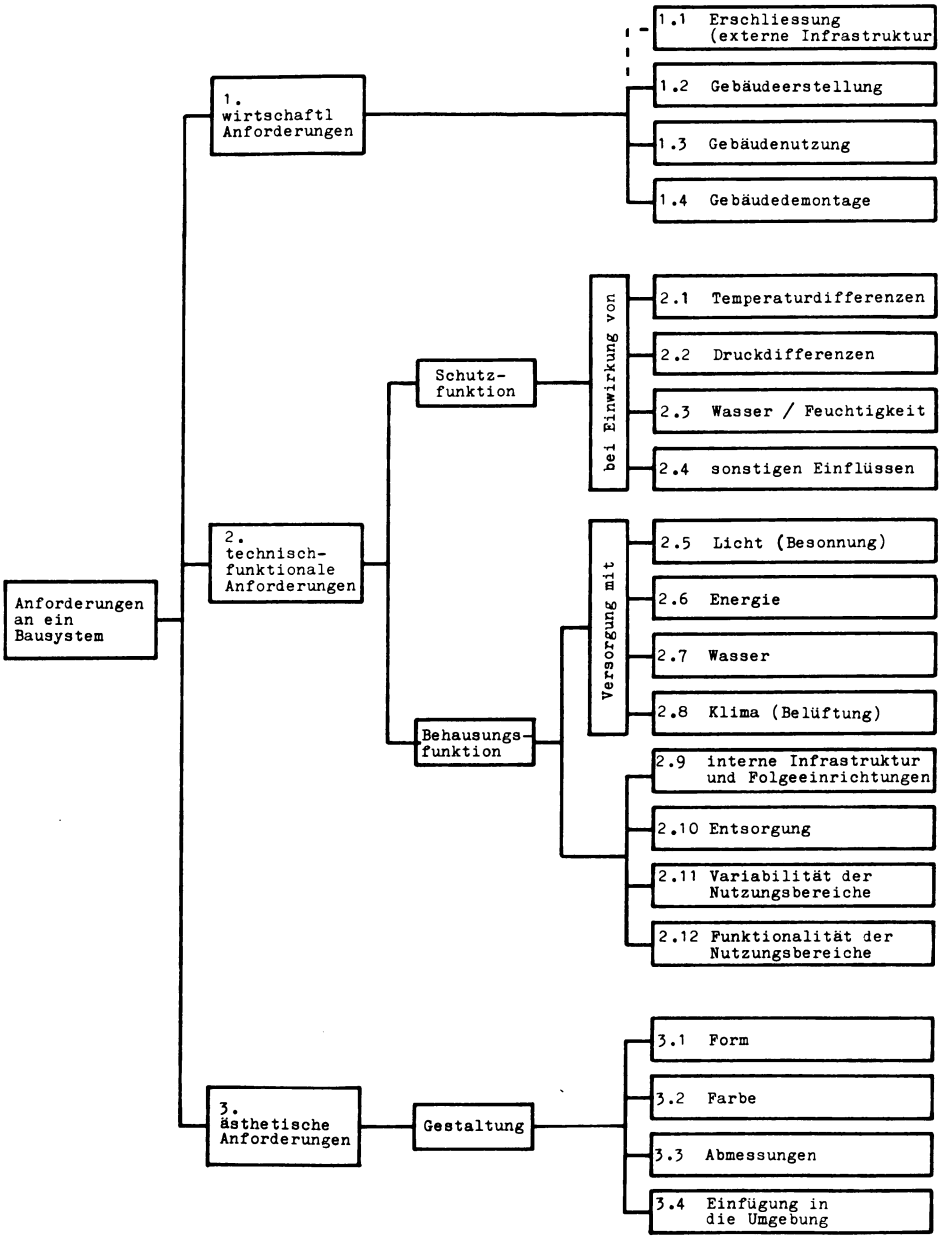


Abb. 33: Anforderungsstruktur an ein Bausystem für den Wohnungsbau

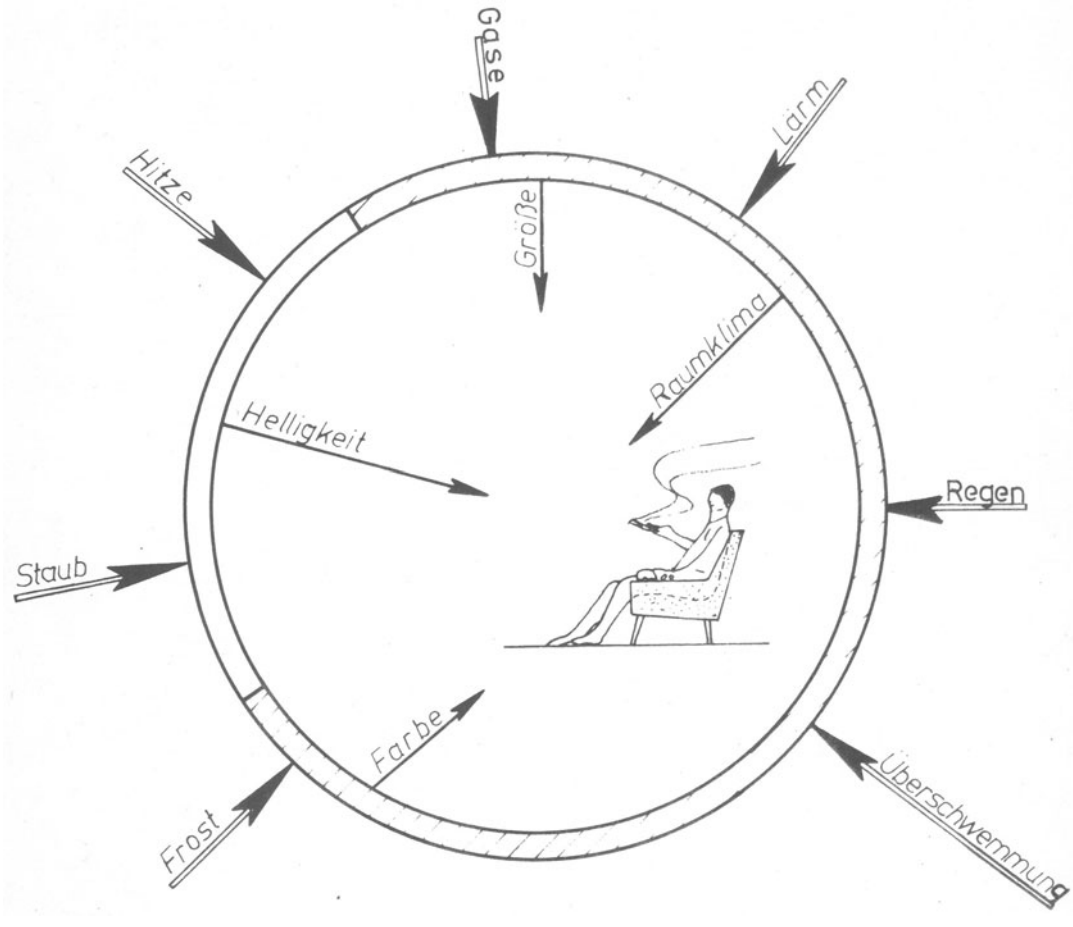


Abb. 34: Schematische Darstellung der Schutz- und Behausungsfunktion einer Außenwand

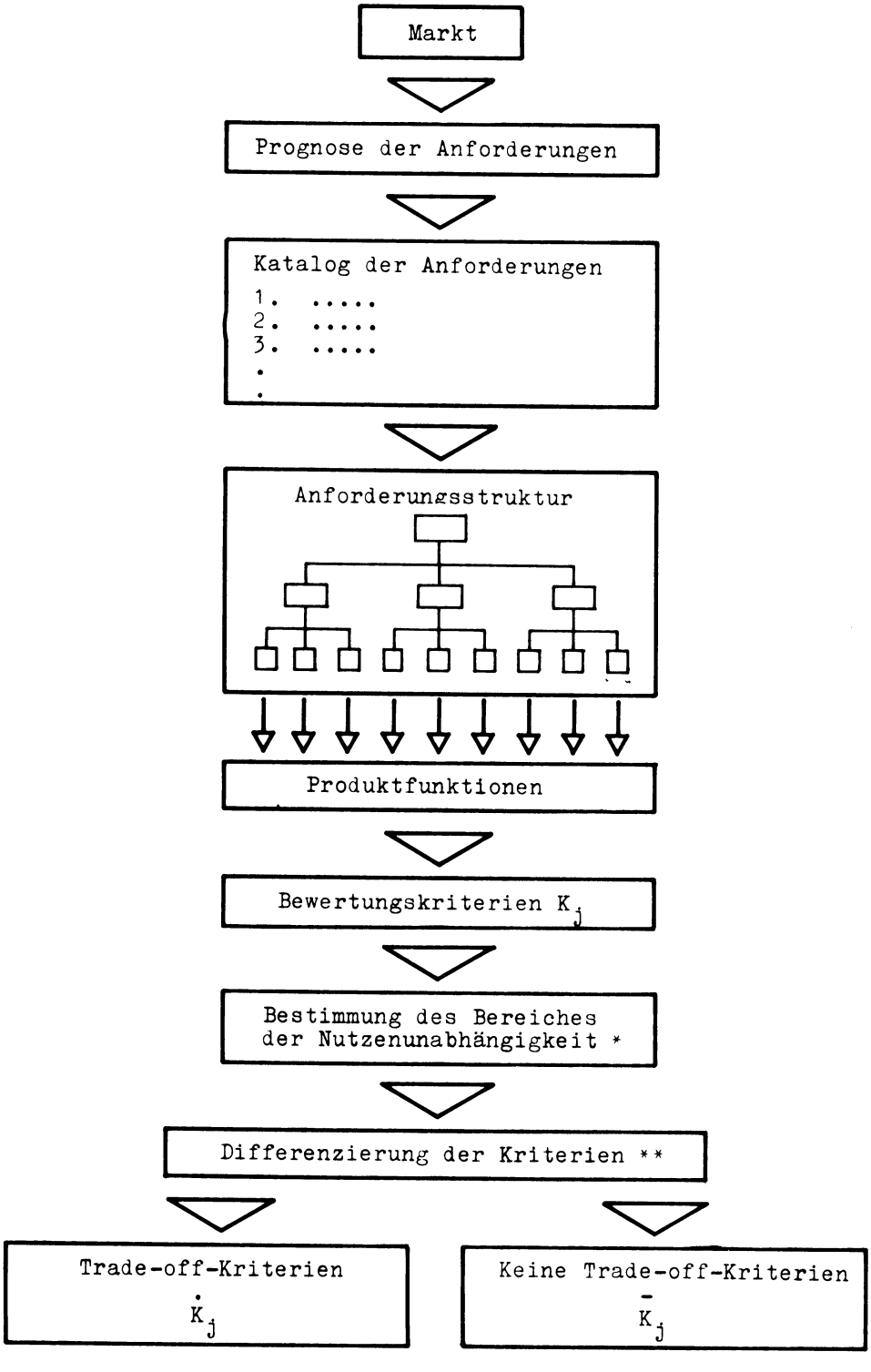
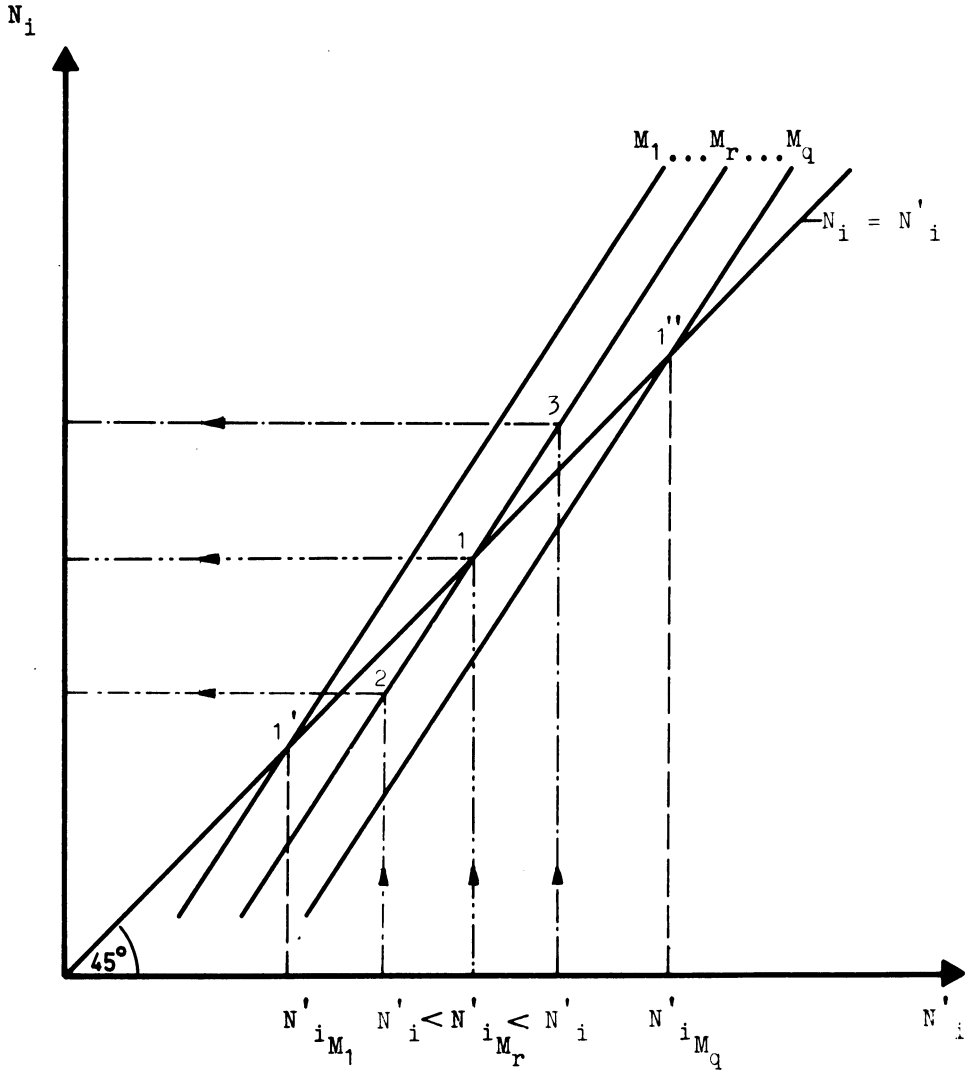


Abb. 35: Bestimmung der Bewertungskriterien für die Werkstoffauswahl
*vgl. Kap. 4.2.2.5 **vgl. Kap. 4.2.2.6



—··——·· Bestimmung von N_i für eine Alternative A_i, die für die Kosten M_r den dafür erwarteten Nutzen $N'_{i_{M_r}}$ bietet.

—·——·- Bestimmung von N_i für eine Alternative A_i, die für die Kosten M_r einen Nutzen N'_i bietet, der größer (kleiner) als der für die Kosten M_r erwartete Nutzen $N_{i_{M_r}}$ ist.

Abb. 36: Bestimmung des Gesamtnutzens N_i bei Nutzenabhängigkeit für die wirtschaftliche Bewertung

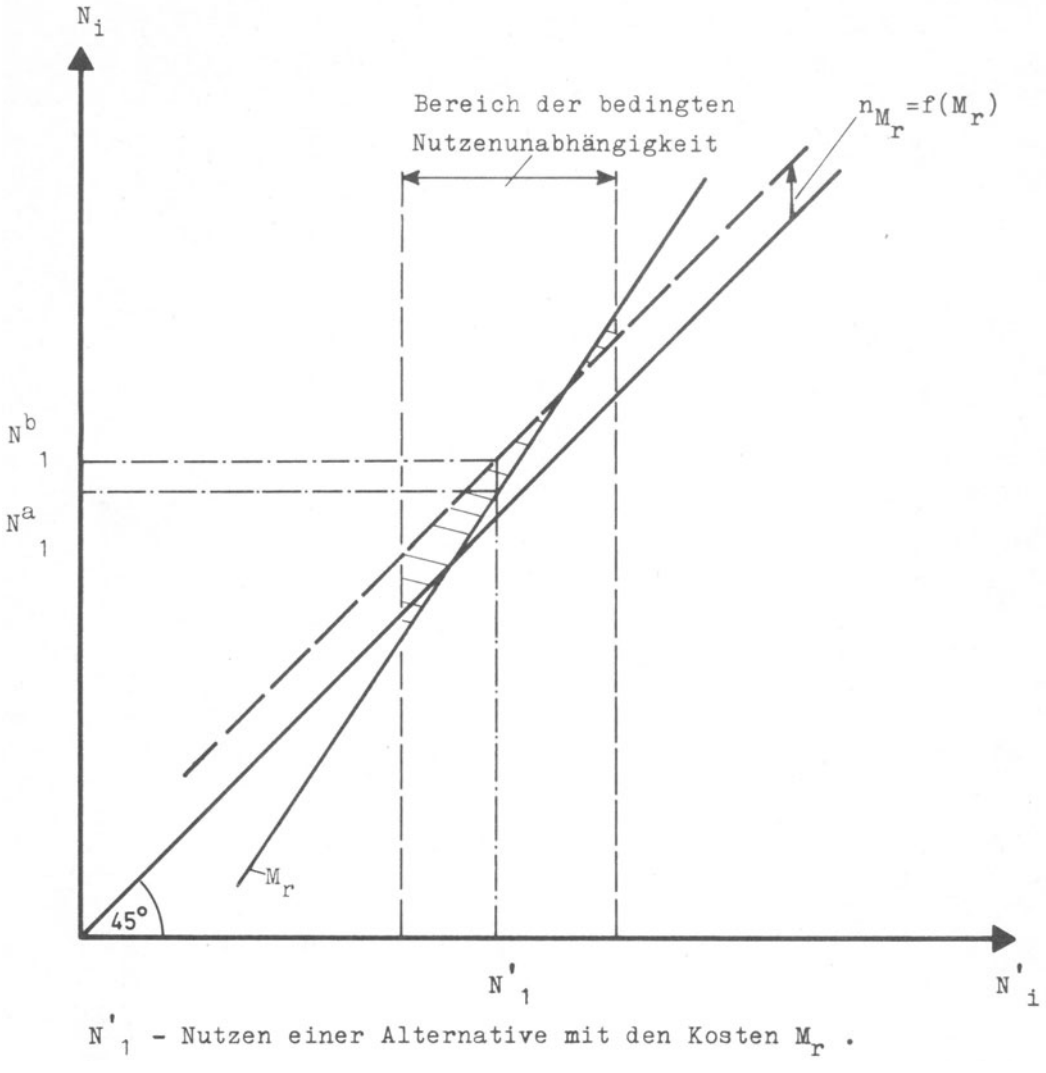


Abb. 37: Differenz des Gesamtnutzens N_i bei Nutzenunabhängigkeit (N_1^b) und bei Nutzenabhängigkeit (N_1^a) für die wirtschaftliche Bewertung

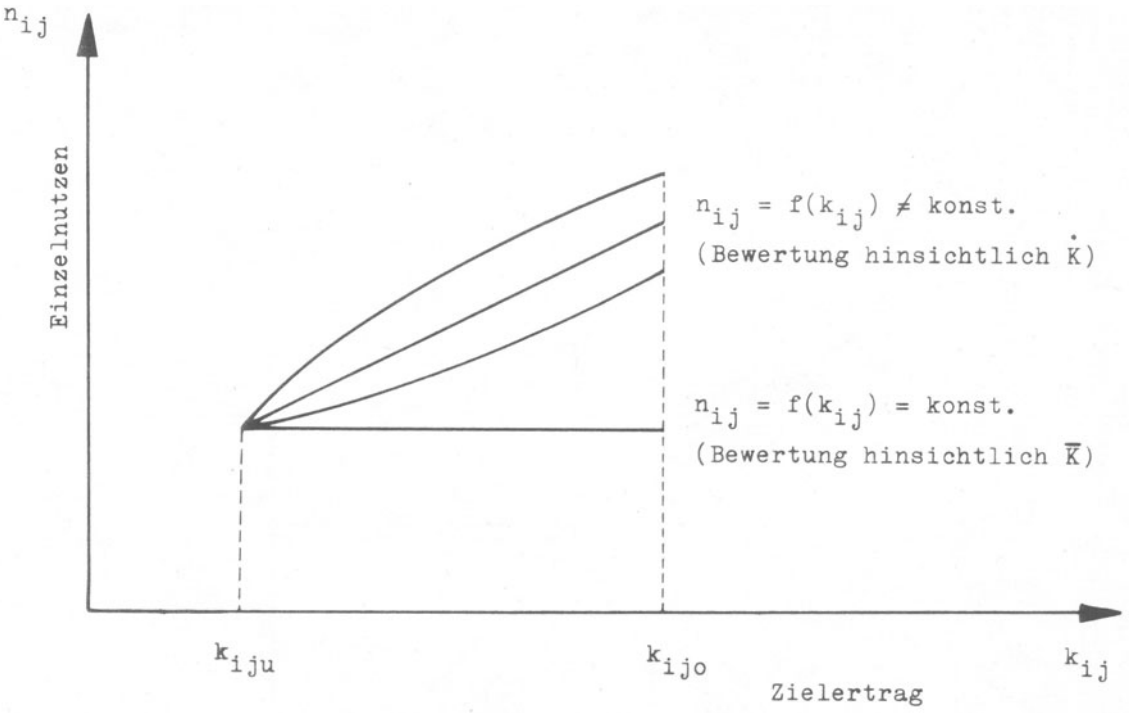


Abb. 38: Verlauf des Einzelnutzens $n_{ij} = f(k_{ij})$ bei Bewertung hinsichtlich eines Kriteriums $\overline{K}_j$, das kein Trade-off-Kriterium ist, und hinsichtlich eines Trade-off-Kriteriums $\dot{K}_j$

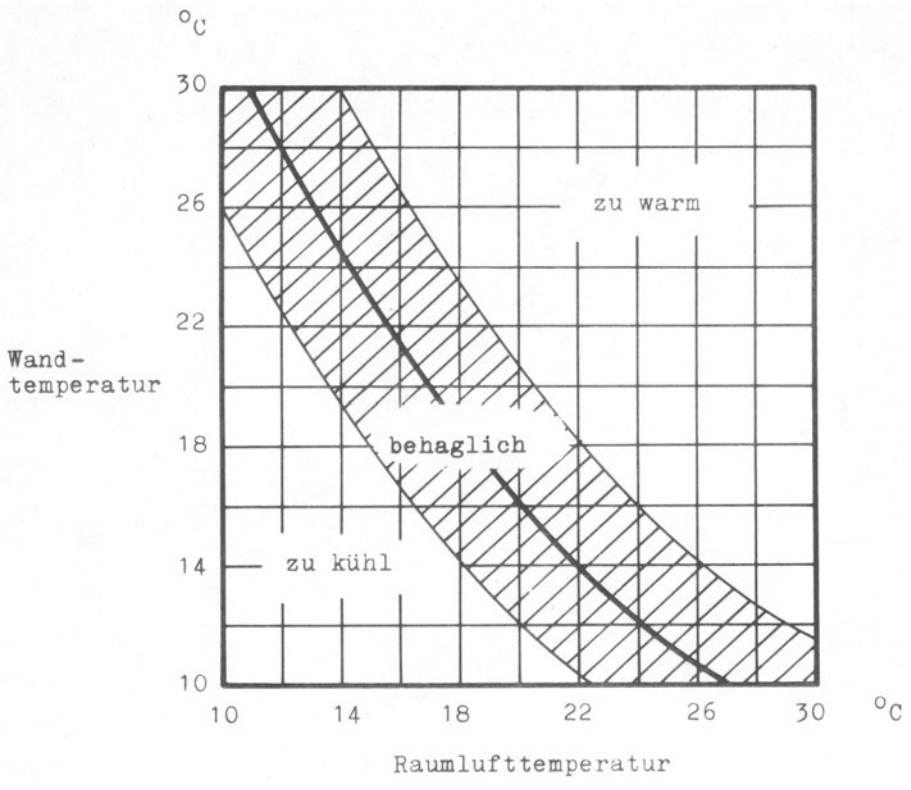
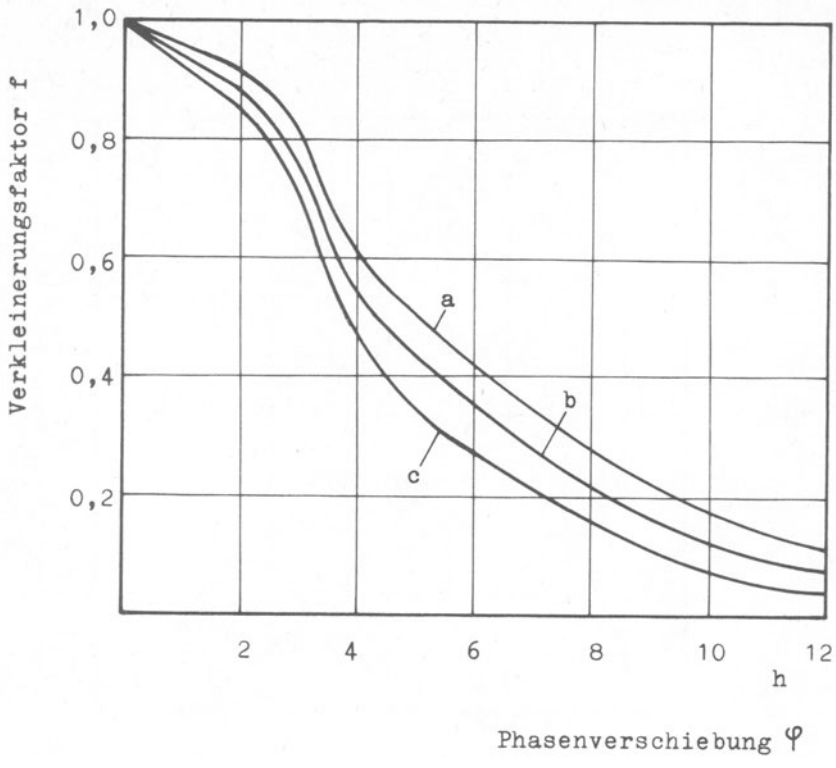


Abb. 39: Abhängigkeit der Behaglichkeit von der Luft- und Wandtemperatur [72]



Kurve a: Horizontal- und Nordwände

Kurve b: Süd- und Westwände

Kurve c: Ostwände

Abb. 40: Abhängigkeit des Verkleinerungsfaktors f von der Phasenverschiebung φ des Temperaturmaximums bei periodischem Wärmedurchgang durch eine Wand [76]

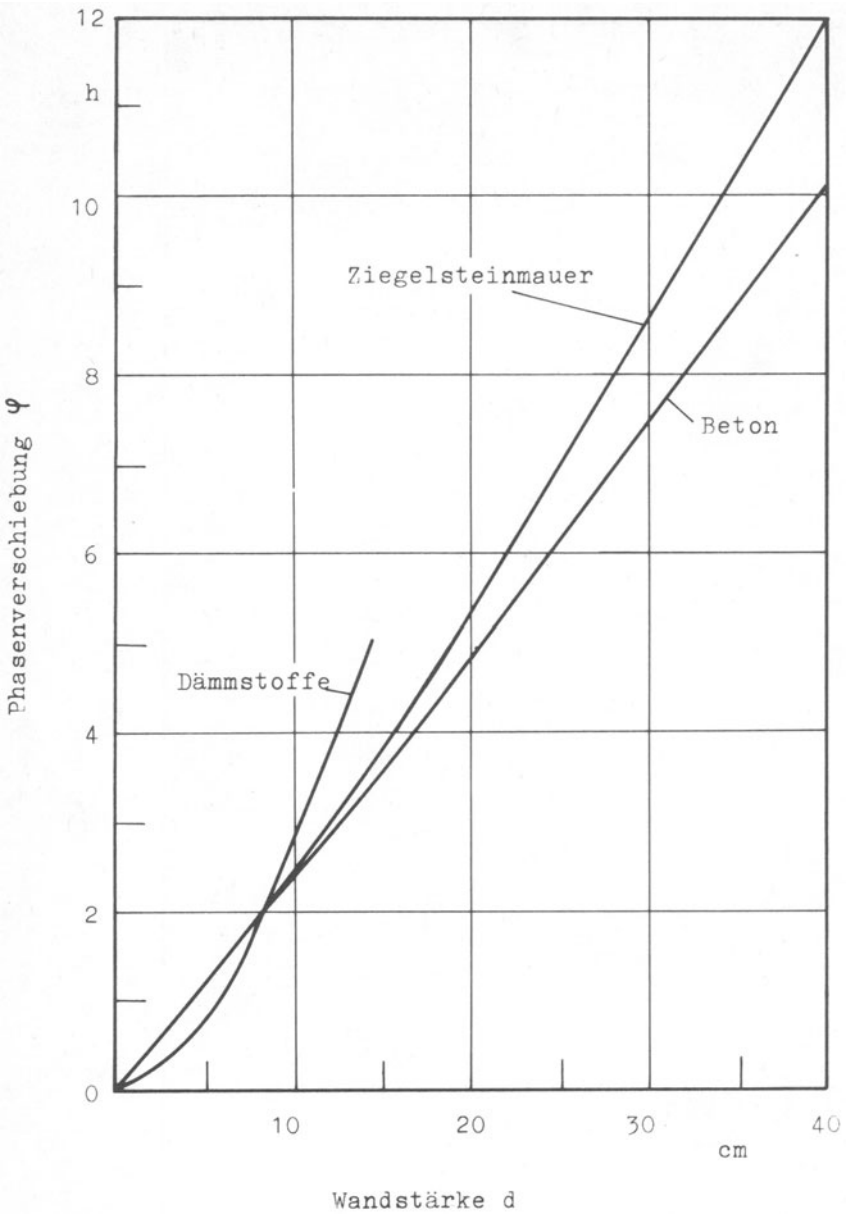


Abb. 41: Phasenverschiebung φ des Temperaturmaximums bei periodischem Wärmedurchgang durch eine Wand [76]

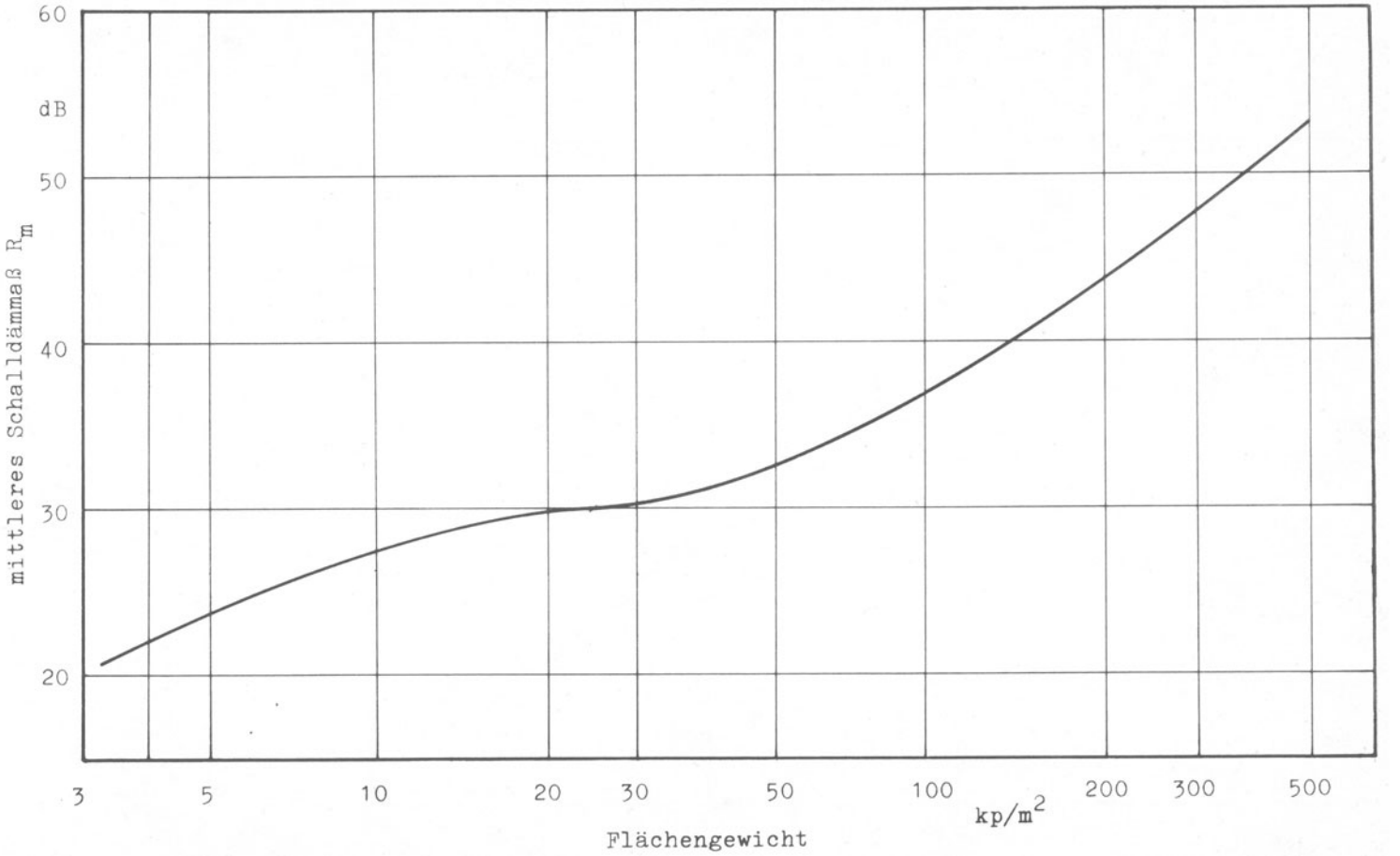
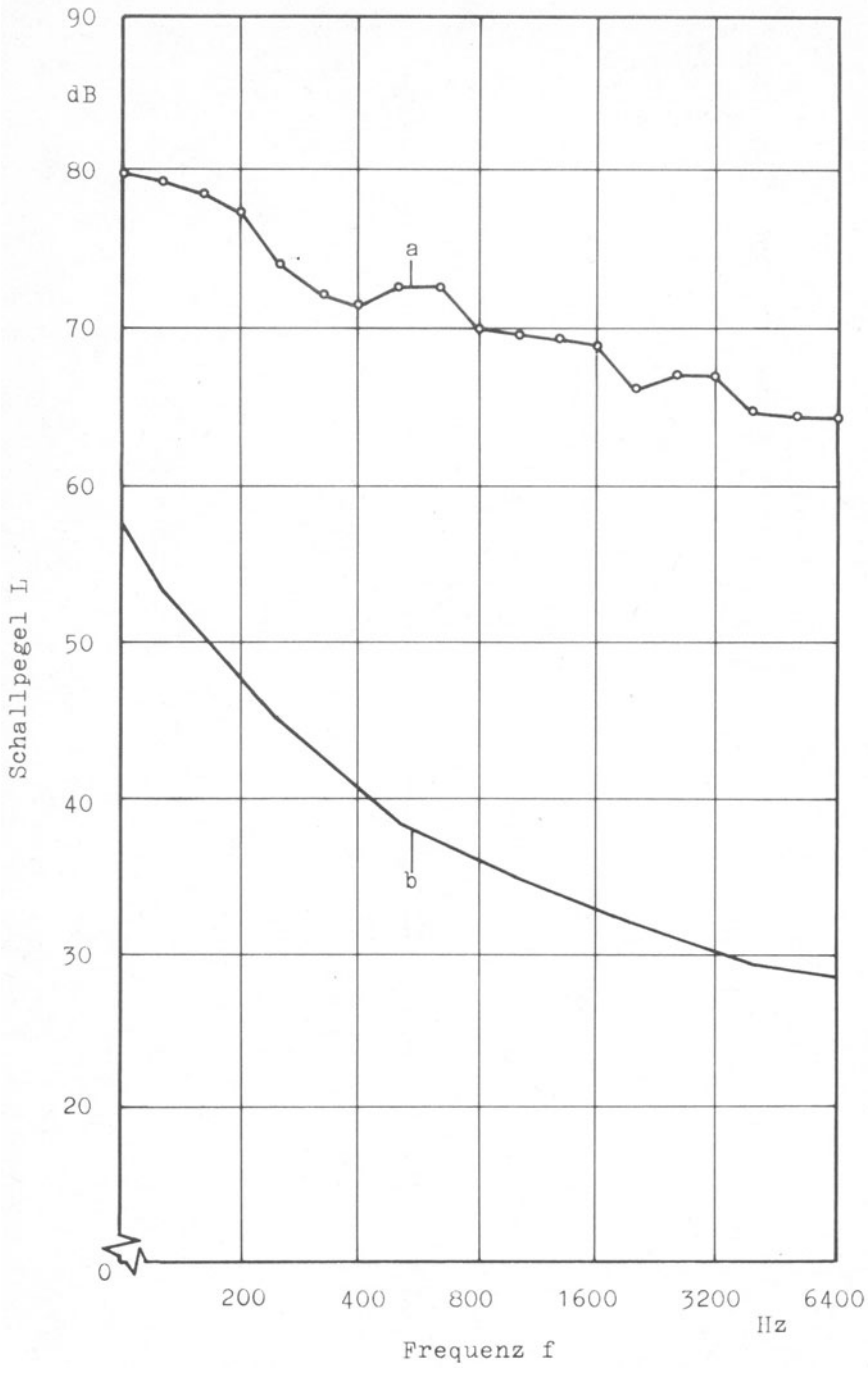
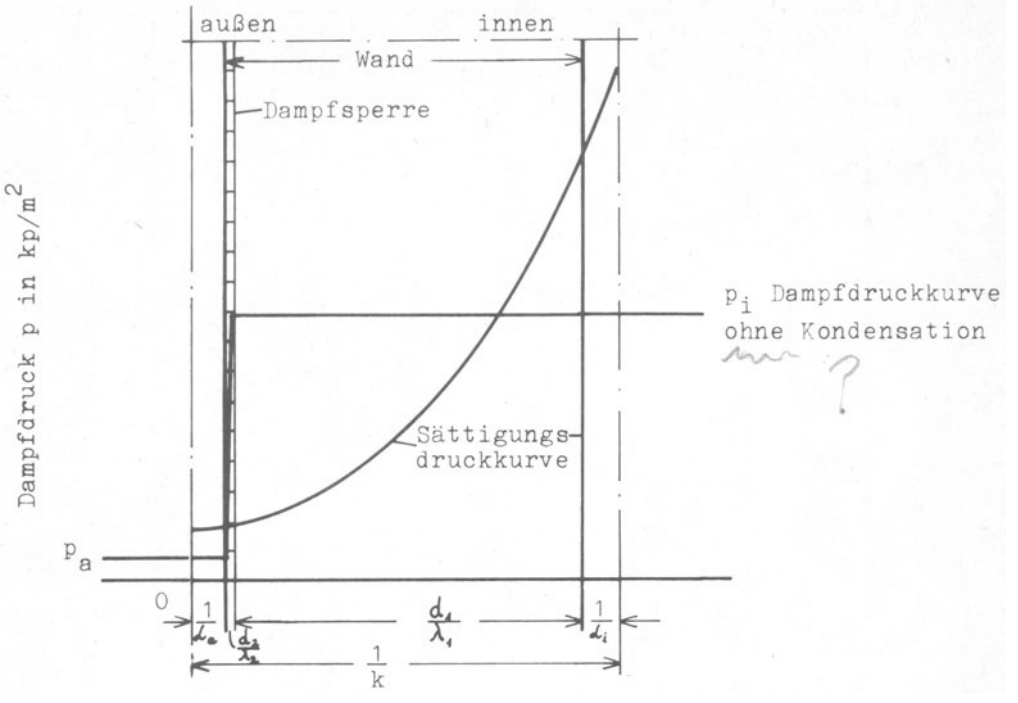


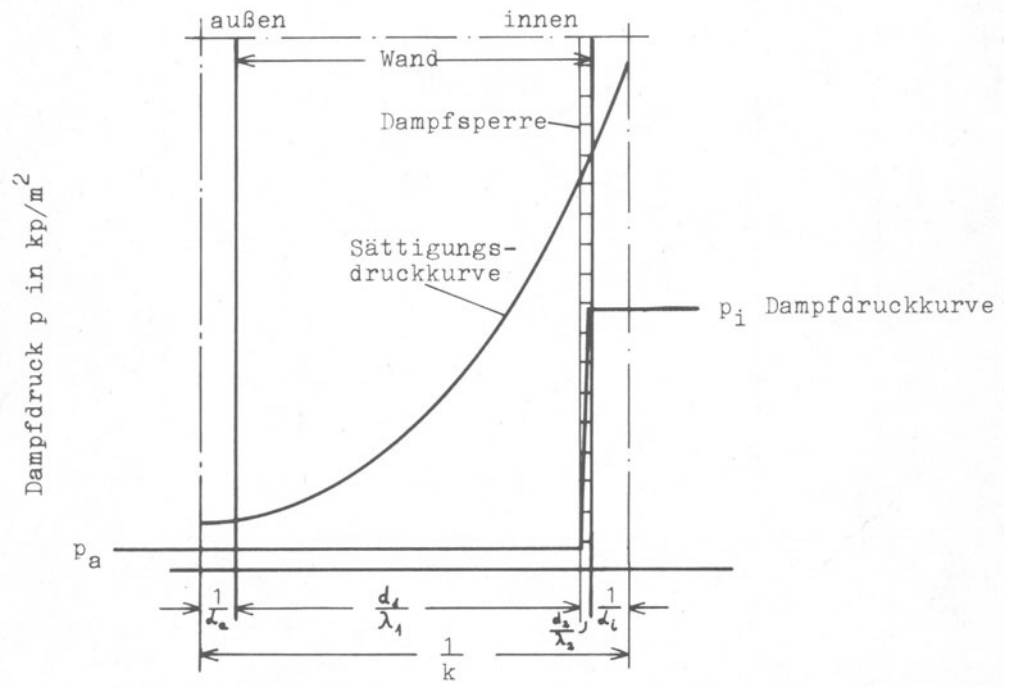
Abb. 42: Abhängigkeit der Luftschalldämmung bei einschaligen Wänden von ihrem Flächengewicht [82]



a: Schallpegel durch Verkehrsgeräusche nach Bruckmayer
b: Grenzkurve für den Schallpegel in einem bewohnten Raum

Abb. 43: Bestimmung der Mindestschalldämmung für Außenwände [84]





Wärmewiderstand in m^2h grd/kcal

Abb. 44: Dampfdruckverlauf bei verschiedener Anordnung der Dampfsperre

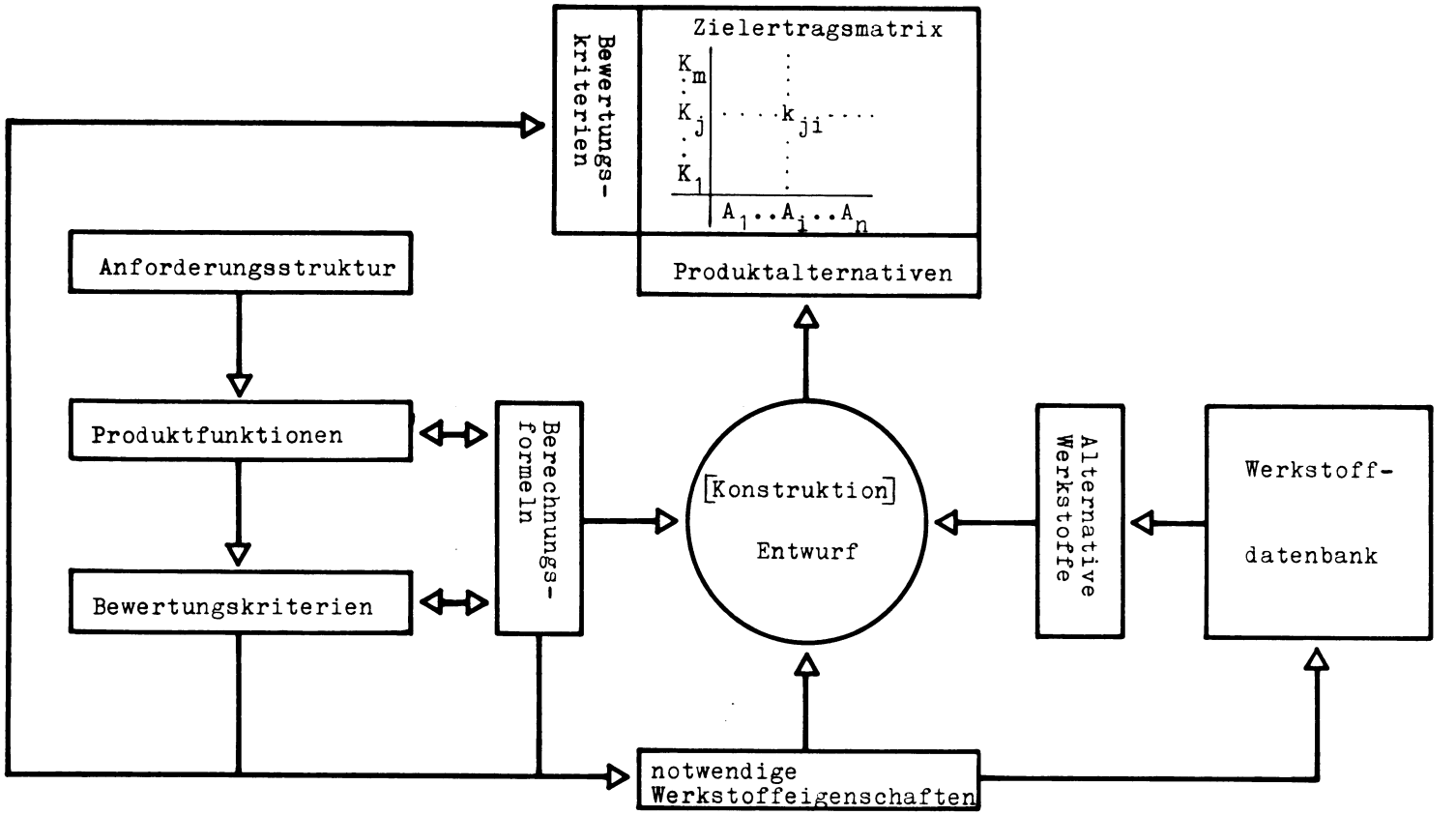


Abb. 45: Bildung der Zielertragsmatrix

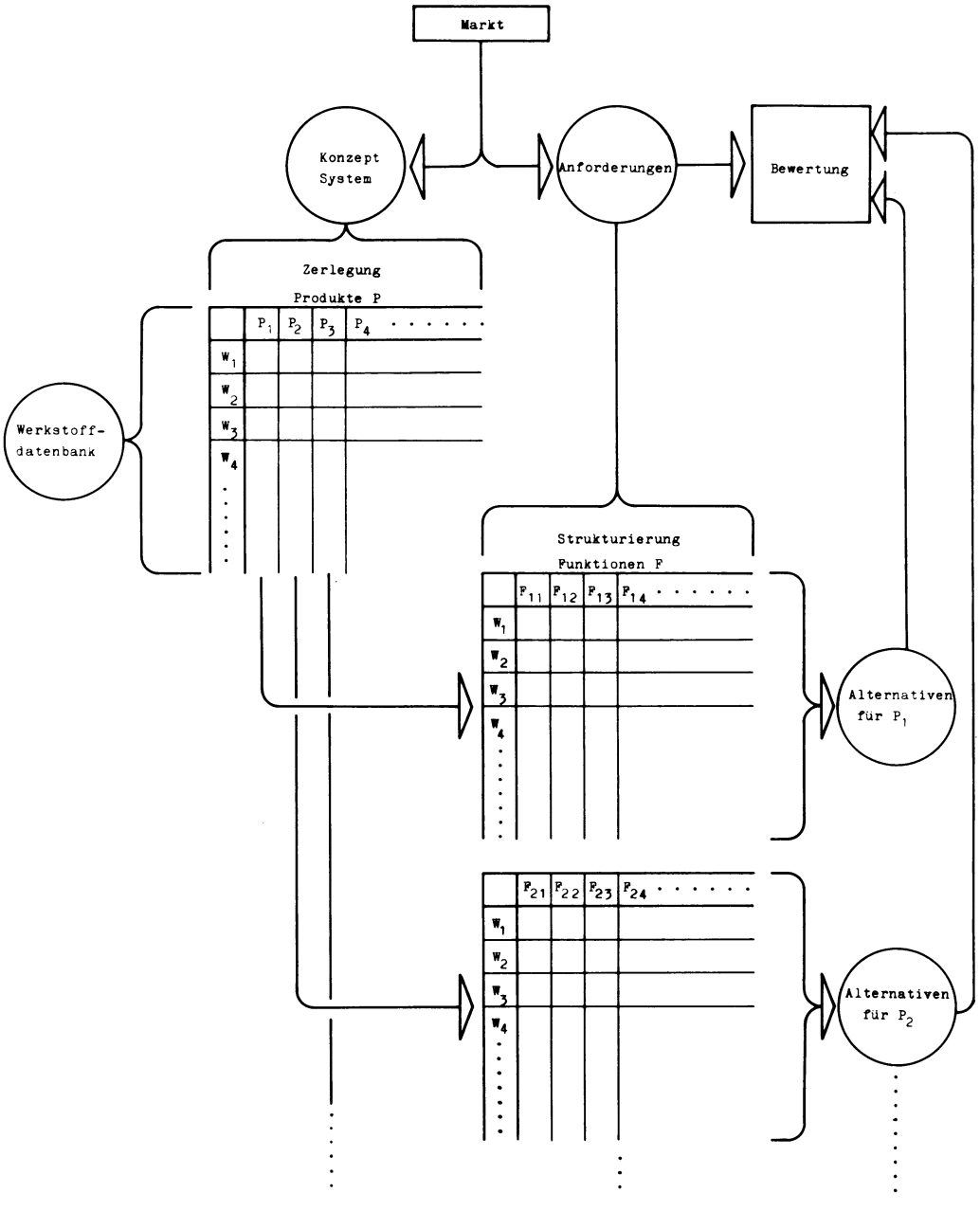


Abb. 46: Zusammenhang zwischen Werkstoff-Produkt-Matrix (Gesamtmatrix) und Werkstoff-Funktions-Matrizen (Teilmatrix) der einzelnen Produkte

WERKSTOFFE \ FUNKTIONEN		AUSSEHEN / GESTALTUNG		SCHUTZ VOR / KEINE ZERSTÖRUNG DURCH: KORRISION / EROSION		WASSER / FEUCHTIGKEIT		DRUCKDIFF.: SCHALL		WINDKRÄFTE, STOß + DRUCKKRÄFTE BEI MONTG. + TRANSP.		TEMPERATURDIFFER.: FEUER		WÄRMESPANNGEN.	TEMPERATUR-SCHWANKUNGEN		SONNENSTRAHLG.		WIRTSCHAFTLICHKEIT
1. BETON	1.1. LEICHTBETON	△		△		△		△		○		○		ABSTIMMUNG DER WÄRMEAUSDEHNUNGSKOEFFIZIENTEN	△		△		MUß VON DEN ALTERNATIVEN IM GANZEN ERFÜLLT WERDEN
	1.2. SCHWERBETON																		
	1.3. STAHLBETON																		
	1.4. SPANNBETON																		
2.	GIPS / PUTZ	○	×	○		△	×	○	×	△	×	○	×		△	×	○	×	
3. MAUERWERK	3.1. MAUERZIEGEL																		
	3.2. KALKSANDSTEIN																		
	3.3. HÜTTENSTEINE																		
	3.4. BETONSTEINE																		
	3.5. NATURSTEINE																		
4.	KUNSTSTEINE / KERAMIK	○		△		○		○		○		○					○		
5.	ASBESTZEMENT	○		○		○		○		○		○			△		○		
6. HOLZ	6.1. KONSTRUKTIV									△									
	6.2. AUSBAUEND	○		△		△		△		△									
7. KUNSTSTOFFE	7.1. VERSTÄRKT	○		○		○		○		○		△			△		△		
	7.2. UNVERSTÄRKT	○		○		○		△		○		△			△		△		
	7.3. GESCHÄUMT					△	×			△	×	△	×		○	×			
	7.4. KUNSTSTOFFBETON			△		△		△		○		△			○		△		
8.	TEER, BITUMEN, ASPHALT			○		○													
9. EISENMETALLE	9.1. STAHL	○		○		○		○		○		○					○		
	9.2. GUSSEISEN																		
10. NE-METALLE	10.1. ZINK																		
	10.2. ALUMINIUM	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×				○	×	
	10.3. KUPFER																		
	10.4. BLEI																		
11. GLAS	11.1. GEPRESST (STEINE)	○		○		○		○		△		△			△		○		
	11.2. GEZOGEN (SCHEIBE)	△		○		○		○		△		△			△		○		
	11.3. GEGOSSEN (STEINE)	○		○		○		○		△		△			△		○		
	11.4. FASERN / GESCHÄUMT					△		△		△		○			○				
12.	ANSTRICHMITTEL	○		○		○													
13.	GUMMI UND ÄHNL.																		

FUNKTIONSERFÜLLUNG DURCH DEN WERKSTOFF ○ GUT △ MÖGLICH

Abb. 47: Werkstoff-Funktions-Matrix für nichttragende Außenwände (x Kennzeichnung der folgenden Alternative: außen - Aluminium, Kern - Kunststoffhartschaum, innen - Gips)

Funktionen			Wandschichten I außen	II mitte	III innen	Bemerkungen
Wirtschaftlichkeit			▲	▲	▲	
Schutz vor / keine Zerstörung durch	Temperaturdifferenzen	Sonnenstrahlung	▲	▲	▲	Betr. Wärmespeicherung
			▲			Betr. Reflexionseinrichtungen
		Temperaturschwankungen	○	▲	○	Betr. Wärmedämmung
		Wärmespannungen	▲	▲	▲	Abstimmung der Wärmeausdehnungskoeffizienten
		Feuer	▲	▲	▲	Betr. Brandverhalten
			▲	○	▲	Betr. Feuerwiderstand
			▲	○	▲	Betr. Rauchentwicklung
			▲	○	▲	Betr. Toxizität der Brandgase
	Druckdifferenzen	Windkräfte	▲	○	▲	bei Sandwichkonstruktionen
				▲		
		Stoß- und Druckkräfte	▲	○	▲	
		bei Transport und Montage	▲	▲	▲	
		Schall	▲	▲	▲	
	Wasser/ Feuchtigkeit		▲	▲	▲	Betr. Auftreten von Kernkondensat
					▲	Dampfsperre
			▲			Wetterschutz
	Korrosion / Erosion		▲			
Aussehen / Gestaltung			▲		▲	

▲ - Funktion muß hauptsächlich in dieser Schicht erfüllt werden.

○ - Funktion kann teilweise auch in dieser Schicht erfüllt werden.

Abb. 48: Zuordnung der Funktionen einer nichttragenden Außenwand zu ihren Schichten

Alternative A_i	Aufbau			Trade-off-Kriterium $\dot{K}_j$				
	a. Außenschicht b. Kern c. Innenschicht	Schichtdicke [m]	Gewicht [kp/m²]	$\dot{K}_1$ Gesamteinsatzkosten [DM/m²]	$\dot{K}_2$ Auskühlverhalten [h]	$\dot{K}_3$ Wärmedurchlaßwiderstand [m²h grd/kcal]	$\dot{K}_4$ mittl. Schalldämmaß [dB]	$\dot{K}_5$ Aussehen
A_1 Gasbeton	a. Außenputz b. Gasbeton c. Innenputz, Gips	0,02 0,2 0,015 0,235	36 144 27 207	39,00	35	1,04	45	gut
A_2 Zementgebundener Blähton	a. Außenputz b. Blähton c. Innenputz, Gips	0,02 0,2 0,015 0,235	36 80 27 143	31,00	20	0,95	42	gut
A_3 Styroporbeton	a. Außenputz b. Styroporbeton c. Innenputz, Gips	0,02 0,2 0,015 0,235	36 114 27 177	30,00	43	1,54	44	gut
A_4 Sandwich mit Kunststoffhartschaumkern	a. versch. Deckschichten* b. versch. Hartschäume (Polyurethan, Polystyrol Phenolharz) c. Gips	0,001-0,005 0,08 0,01 0,095	3-8 2,8 8,4 14-19	36,00	2	2,33	29	sehr gut
A_5 Sandwich mit Hartschaumleichtbetonkern	a. versch. Deckschichten* b. Blähton, Blähglas durch Hartschaum (Polyurethan unges. Polyesterharze) gebunden c. Gips	0,001-0,005 0,15 0,01 0,165	3-8 55 8,4 66-72	50,00	36	2,43	34	sehr gut
A_6 Sandwich mit Schaumglaskern	a. versch. Deckschichten* b. Schaumglas c. Gips	0,001-0,005 0,11 0,01 0,125	3-8 16 8,4 27-32	56,00	8	2,35	30	sehr gut

Abb. 49: Zielertragsmatrix für nichttragende Außenwände (Trade-off-Kriterien siehe Tab. 7)
*Asbestzement, Kunststoff (verstärkt, unverstärkt), Aluminium, Stahl (rostfrei, kunststoffbeschichtet)

Kriterien K_j	Differenzierung	Bewertung der Alternative $A_i = \{k_{ij}\}$	
$\dot{K}_1$	Trade-off-Kriterien	$\bar{n}_{i1}$	$\dot{n}_{i1}$
$\dot{K}_2$		$\bar{n}_{i2}$	$\dot{n}_{i2}$
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
$\dot{K}_z$		$\bar{n}_{iz}$	$\dot{n}_{iz}$
$\bar{K}_{m-z+1}$	Keine Trade-off-Kriterien	$\bar{n}_{i\ m-z+1}$	$\dot{n}_{i\ m-z+1} = 0$
$\bar{K}_{m-z+2}$		$\bar{n}_{i\ m-z+2}$	$\dot{n}_{i\ m-z+2} = 0$
$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
$\bar{K}_m$		$\bar{n}_{im}$	$\dot{n}_{im} = 0$

$$N_i = \sum_{j=1}^{m} \bar{n}_{ij} + \sum_{j=1}^{z} \dot{n}_{ij}$$

$$N_i = \bar{N}_i + \dot{N}_i$$

Abb. 50: Bestimmung des Gesamtnutzens N_i einer Alternative A_i

Vergleich					Kriterien	Rangordnung
1	1 2	1 3	1 4	1 5	$\dot{K}_1$	2
	2	2 3	2 4	2 5	$\dot{K}_2$	4,5
		3	3 4	3 5	$\dot{K}_3$	1
			4	4 5	$\dot{K}_4$	4,5
				5	$\dot{K}_5$	3

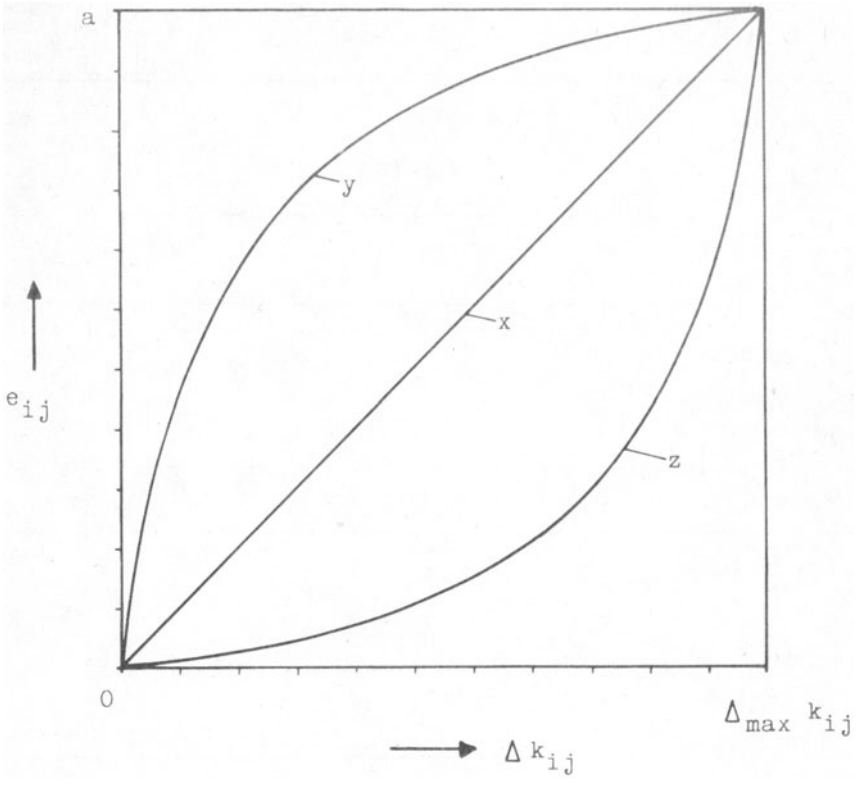
Abb. 51: Bestimmung der Rangfolge der Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ [52]

Trade-off-Kriterium $\dot{K}_j$	Skalen zur Nutzenmessung $\dot{n}_{ij} = f(\Delta k_{ij})$	Skalen zur Nutzenmessung $e_{ij} = f(\Delta k_{ij})$
$\dot{K}_1$	$\dot{n}_{i1}$ → 0 … $\dot{n}_{i1max} = a$; Δk_{i1} → 0 … $\Delta_{max} k_{i1}$	e_{i1} → 0 … a; Δk_{i1} → 0 … $\Delta_{max} k_{i1}$
$\dot{K}_2$	$\dot{n}_{i2}$ → 0 … $\dot{n}_{i2max} = 0{,}8\ a$; Δk_{i2} → 0 … $\Delta_{max} k_{i2}$	e_{i2} → 0 … a; Δk_{i2} → 0 … $\Delta_{max} k_{i2}$
$\dot{K}_3$	$\dot{n}_{i3}$ → 0 … $\dot{n}_{i3max} = 0{,}6\ a$; Δk_{i3} → 0 … $\Delta_{max} k_{i3}$	⋮
⋮	⋮	⋮

Es gilt: $g_1 = 1{,}0$; $g_2 = 0{,}8$; $g_3 = 0{,}6$ ...

$\dot{n}_{ij} = g_j \cdot e_{ij}$

Abb. 52: Skalenvereinheitlichung zur Nutzenmessung der Alternative A_i



Kurve x : $e_{ij} = A \cdot \Delta k_{ij}$

Kurve y : $e_{ij} = B \cdot \ln(1+\Delta k_{ij})$

Kurve z : $e_{ij} = e^{(C \cdot \Delta k_{ij})} - 1$

Abb. 53: Nutzenmessung bei linearem und nichtlinearem Zusammenhang zwischen Zielertrag und Nutzen

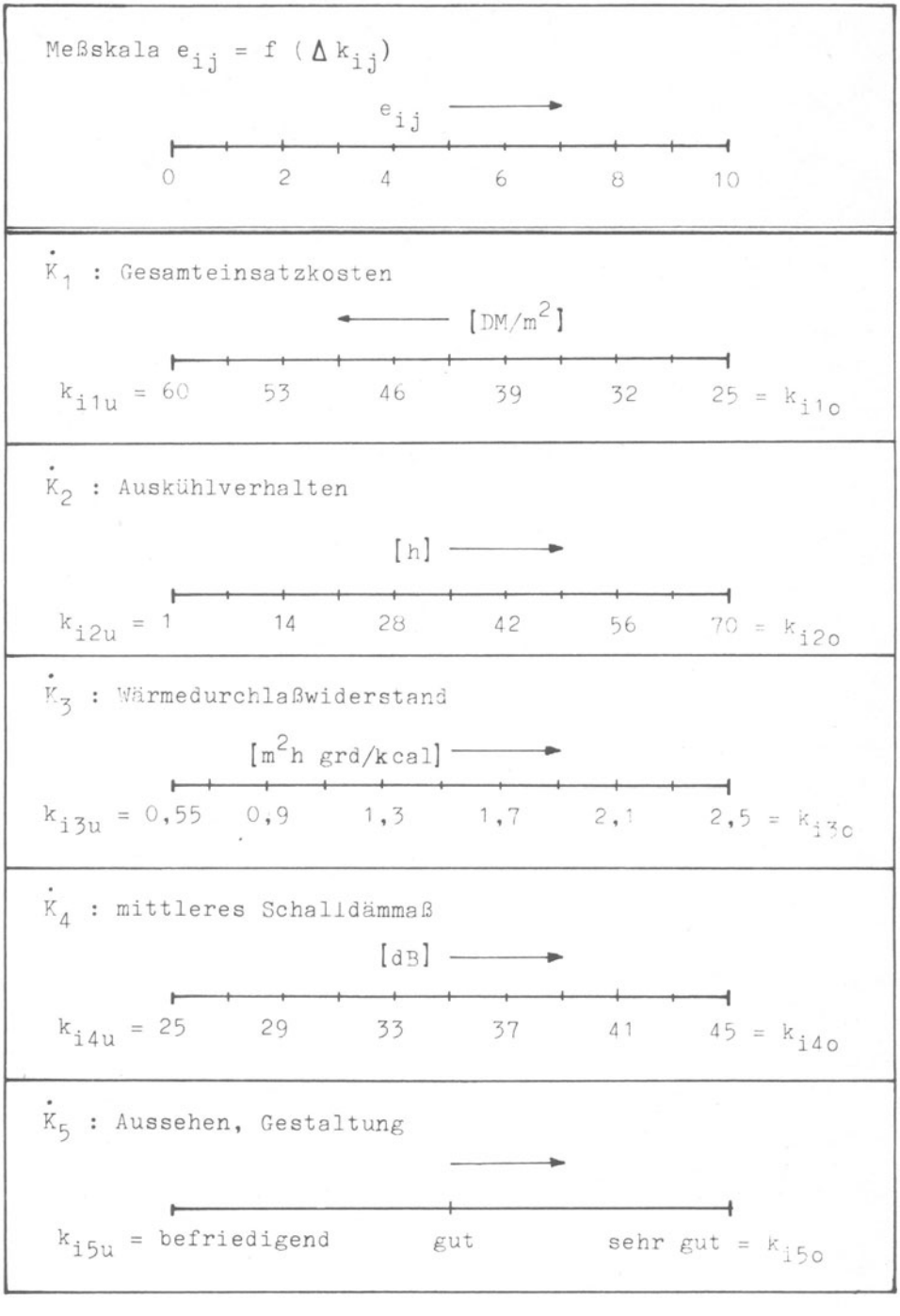


Abb. 54: Meßmodell zur Nutzenbestimmung der Alternativen A_i für nichttragende Außenwände (Trade-off-Kriterien $\dot{K}_j$ siehe Tab. 7)

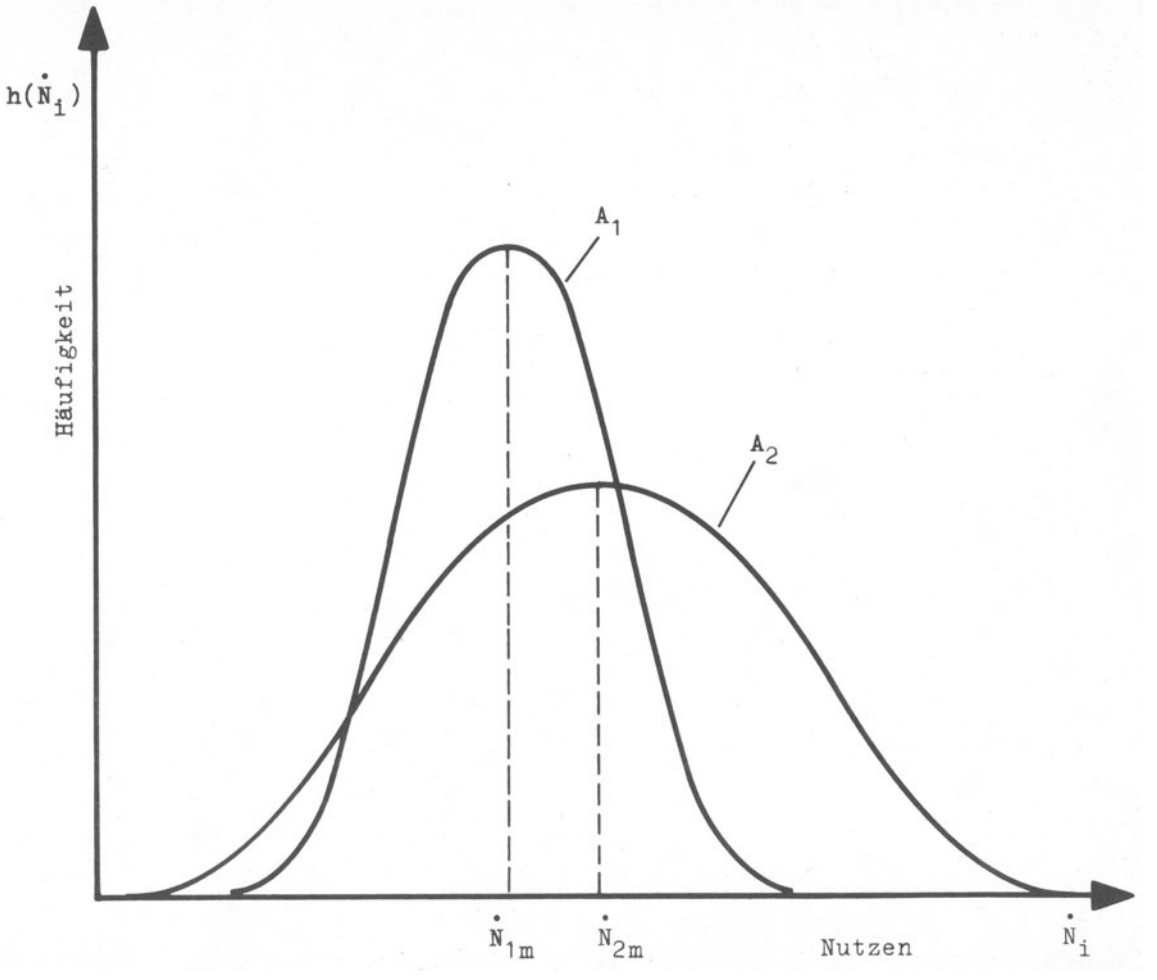


Abb. 55: Schematische Darstellung von Nutzenverteilungen für zwei Alternativen A_1 und A_2

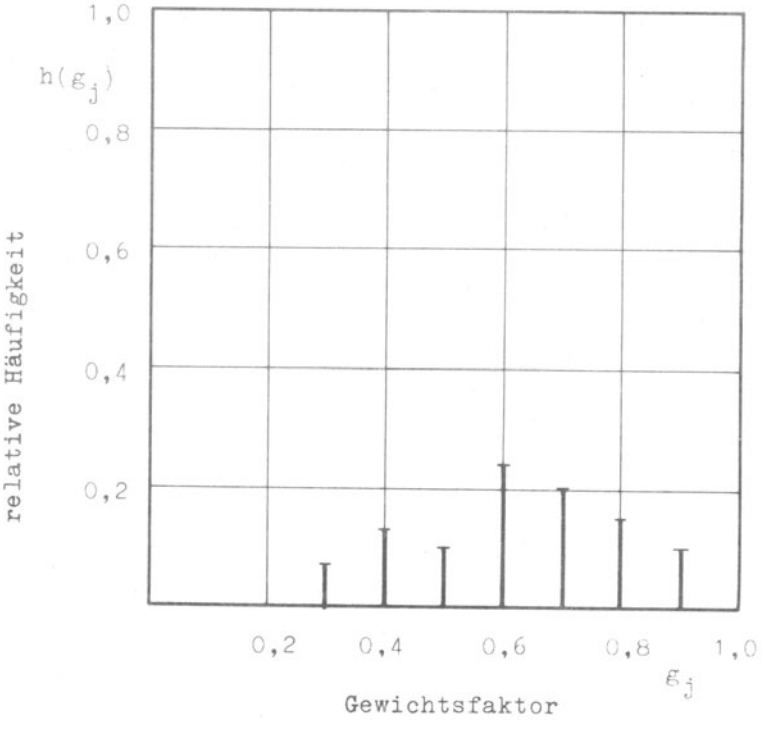


Abb. 56: Schematische Darstellung einer sich aus den Marktbeobachtungen ergebenden diskreten Verteilung für einen Gewichtsfaktor g_j

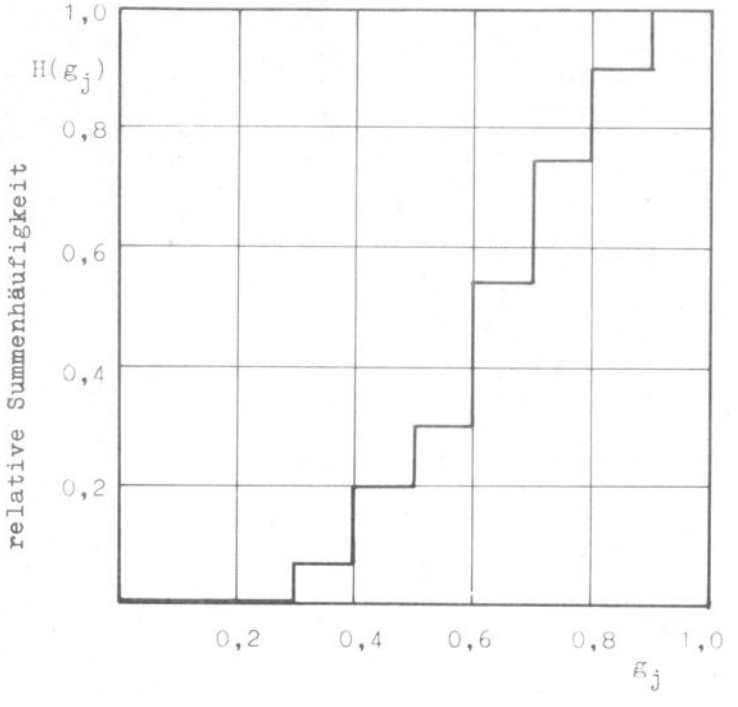


Abb. 57: Kumulierte Verteilung der in Abb. 56 dargestellten Verteilung für einen Gewichtsfaktor g_j

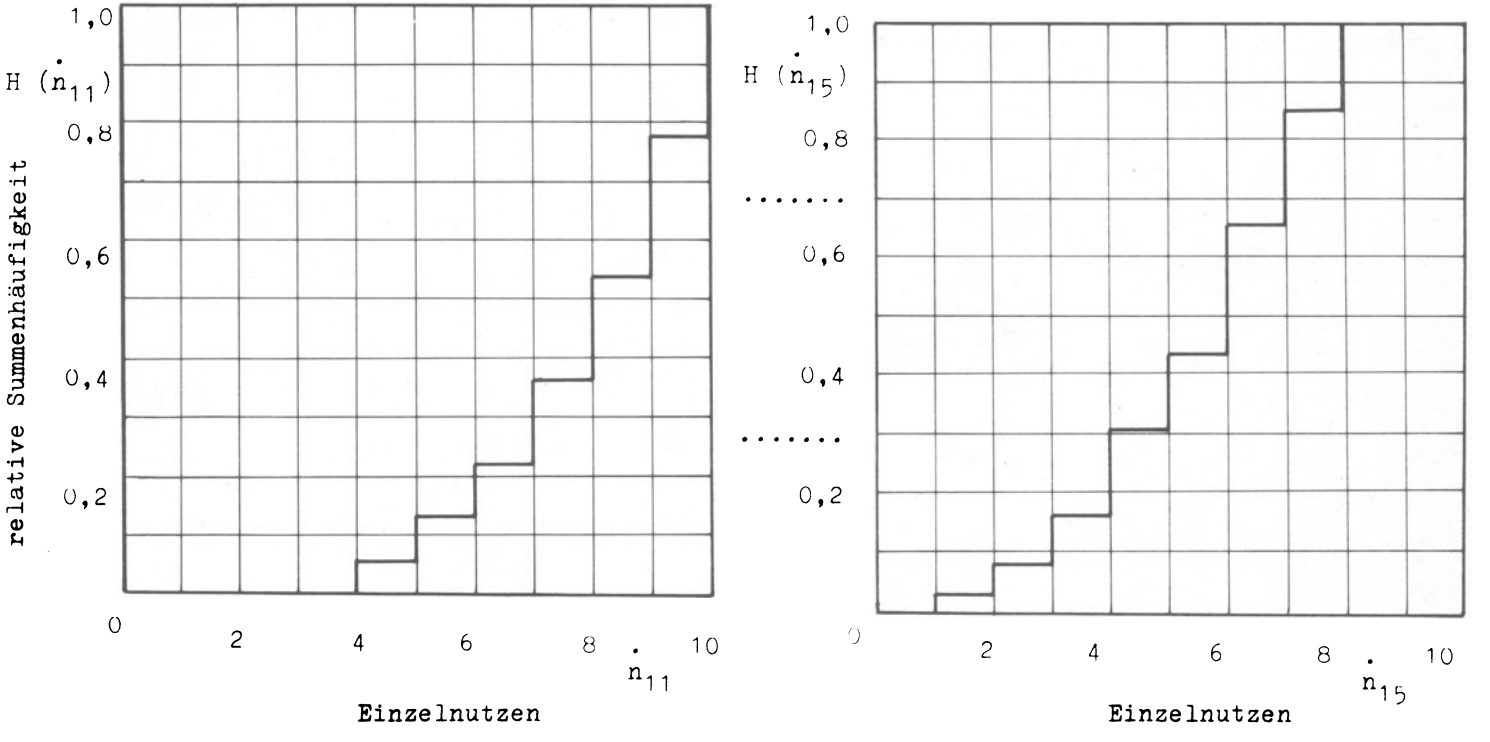


Abb. 58: Kumulierte Verteilungen der Einzelnutzen $\dot{n}_{11}$ ... $\dot{n}_{15}$ für eine Alternative A_1

Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen

Herausgegeben im Auftrage des Ministerpräsidenten Heinz Kühn
vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau

Sachgruppenverzeichnis

Acetylen · Schweißtechnik
Acetylene · Welding gracitice
Acétylène · Technique du soudage
Acetileno · Técnica de la soldadura
Ацетилен и техника сварки

Arbeitswissenschaft
Labor science
Science du travail
Trabajo científico
Вопросы трудового процесса

Bau · Steine · Erden
Constructure · Construction material · Soilresearch
Construction · Matériaux de construction · Recherche souterraine
La construcción · Materiales de construcción · Reconocimiento del suelo
Строительство и строительные материалы

Bergbau
Mining
Exploitation des mines
Minería
Горное дело

Biologie
Biology
Biologie
Biologia
Биология

Chemie
Chemistry
Chimie
Quimica
Химия

Druck · Farbe · Papier · Photographie
Printing · Color · Paper · Photography
Imprimerie · Couleur · Papier · Photographie
Artes gráficas · Color · Papel · Fotografia
Типография · Краски · Бумага · Фотография

Eisenverarbeitende Industrie
Metal working industry
Industrie du fer
Industria del hierro
Металлообработывающая промышленность

Elektrotechnik · Optik
Electrotechnology · Optics
Electrotechnique · Optique
Electrotécnica · Optica
Электротехника и оптика

Energiewirtschaft
Power economy
Energie
Energía
Энергетическое хозяйство

Fahrzeugbau · Gasmotoren
Vehicle construction · Engines
Construction de véhicules · Moteurs
Construcción de vehículos · Motores
Производство транспортных средств

Fertigung
Fabrication
Fabrication
Fabricación
Производство

Funktechnik · Astronomie
Radio engineering · Astronomy
Radiotechnique · Astronomie
Radiotécnica · Astronomía
Радиотехника и астрономия

Gaswirtschaft

Gas economy
Gaz
Gas
Газовое хозяйство

Holzbearbeitung

Wood working
Travail du bois
Trabajo de la madera
Деревообработка

Hüttenwesen · Werkstoffkunde

Metallurgy · Materials research
Métallurgie · Matériaux
Metalurgia · Materiales
Металлургия и материаловедение

Kunststoffe

Plastics
Plastiques
Plásticos
Пластмассы

Luftfahrt · Flugwissenschaft

Aeronautics · Aviation
Aéronautique · Aviation
Aeronáutica · Aviación
Авиация

Luftreinhaltung

Air-cleaning
Purification de l'air
Purificación del aire
Очищение воздуха

Maschinenbau

Machinery
Construction mécanique
Construcción de máquinas
Машиностроительство

Mathematik

Mathematics
Mathématiques
Matemáticas
Математика

Medizin · Pharmakologie

Medicine · Pharmacology
Médecine · Pharmacologie
Medicina · Farmacologia
Медицина и фармакология

NE-Metalle

Non-ferrous metal
Metal non ferreux
Metal no ferroso
Цветные металлы

Physik

Physics
Physique
Física
Физика

Rationalisierung

Rationalizing
Rationalisation
Racionalización
Рационализация

Schall · Ultraschall

Sound · Ultrasonics
Son · Ultra-son
Sonido · Ultrasónico
Звук и ультразвук

Schiffahrt

Navigation
Navigation
Navegación
Судоходство

Textilforschung

Textile research
Textiles
Textil
Вопросы текстильной промышленности

Turbinen

Turbines
Turbines
Turbinas
Турбины

Verkehr

Traffic
Trafic
Tráfico
Транспорт

Wirtschaftswissenschaften

Political economy
Economie politique
Ciencias economicas
Экономические науки

Einzelverzeichnis der Sachgruppen bitte anfordern

Westdeutscher Verlag GmbH
– Auslieferung Opladen –
567 Opladen, Postfach 1620